

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEXANDRE DULLIUS

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POLUENTES POR USO DE
COMBUSTÍVEIS NO TRANSPORTE PÚBLICO DE CURITIBA-PR.**

CURITIBA

2014

ALEXANDRE DULLIUS

**EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POLUENTES POR USO DE
COMBUSTÍVEIS NO TRANSPORTE PÚBLICO DE CURITIBA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Bioenergia, da Universidade Federal do Paraná, Como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Co-orientadora (s): Prof(s). Dra. Graciela Inês Bolzon de Muniz.

CURITIBA

2014




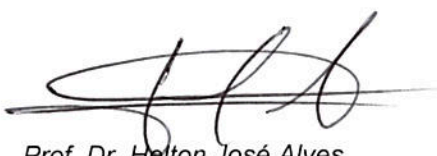
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em
BIOENERGIA




PARECER
Defesa nº. 007

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, após arguir o mestrando **Alexandre Dullius** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POLUENTES POR USO DE COMBUSTÍVEIS NO TRANSPORTE PÚBLICO DE CURITIBA-PR.**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Mestre* em BIOENERGIA, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.


Prof. Dra. Ana Paula Dalla Corte
Universidade Federal do Paraná
Primeira examinadora


Prof. Dr. Helton José Alves
Universidade Federal do Paraná - Palotina
Segundo examinador


Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 14 de março de 2014 .


Profa. Dra. Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em BIOENERGIA

AGRADECIMENTOS

O caminho traçado foi muito bem conduzido, acompanhado e orientado. Por este motivo, agradeço primeiramente ao meu orientador, o professor Dr. Carlos Roberto Sanquetta que com sua sabedoria e dedicação me acolheu e despendeu seus esforços para que este sonho tornasse realidade.

A minha co orientadora a professora Dra. Graciela Muniz por suas contribuições.

Ao Elcio Káras, que através da Empresa de Urbanização de Curitiba – URBS prestou todo apoio e informações relevantes viabilizando a realização do estudo.

Aos todos os meus colegas de mestrados, em especial ao Fernando Eduardo kerschbaumer, aos professores do programa de bioenergia, aos meus colegas de trabalho do Instituto Federal do Paraná, que direta ou indiretamente contribuíram e incentivaram para que realizasse as tarefas com êxito.

Dedico esta conquista especialmente a minha mãe Maria J. Dullius e aos meus irmãos Sandro, Michele, Elis e Elisabete Dullius, a Camila Paffrath e ao Erick Xavier, pessoas que me amam e me acompanham em todos os momentos da minha vida, fazendo luz aos meus dias por simplesmente serem, Amo Vocês!

RESUMO

Projetos voltados para o meio sustentável podem assumir grande destaque no cenário científico e tecnológico em virtude das reduções desejadas de gases poluentes ao efeito estufa e, também, em substituição de produtos de origem fóssil, por produtos renováveis. Desta forma, o presente estudo quantificou as emissões no transporte coletivo ônibus urbano da cidade de Curitiba no período de um ano, comparando as emissões em três diferentes combustíveis: combustível convencional (Diesel), combustível renovável (Biodiesel), motor elétrico diesel e biodiesel (motor híbrido). Como principais resultados deste estudo, identificou-se uma matriz energética de consumo de 92,11%, de combustível fóssil (diesel puro) e, 7,89% de combustível renovável (biodiesel). As emissões deste consumo resultaram em um total de 199.554,10 toneladas métricas de CO₂ eq, sendo que deste total 14.749,18 toneladas métricas de CO₂ advêm da queima biomassa. Quando comparada as emissões per capitas do mesmo setor a nível nacional, o transporte coletivo de Curitiba, ônibus urbano, emite aproximadamente 82% menos GEEs. O uso de biodiesel no transporte público de Curitiba no mesmo o período evitou a emissão de aproximadamente 10.000 toneladas métricas de CO₂. Os resultados dos testes de opacidade indicaram que o modelo híbrido operando a B100 emite cerca de 93% menos fumaça preta. Pela análise econômica, se toda a frota da cidade de Curitiba fosse híbrida, com o total do volume de combustível utilizado, obteria-se uma economia de R\$ 62.558.868,08, valor este que cobriria duas vezes os gastos com saúde pública advindos das emissões do transporte coletivo na capital mais populosa da América do Sul, São Paulo.

Palavras Chave: Ônibus Híbrido, Emissões GEEs, Transporte Coletivo.

ABSTRACT

Projects for sustainable environment can take great emphasis on scientific and technological scenario because the desired reductions of greenhouse gases to the effect, and also to replace fossil products for renewable products. Thus the present study quantified emissions in urban transportation buses in Curitiba in one year, comparing emissions in three different fuels: conventional fuel (diesel), renewable fuel (biodiesel), biodiesel and diesel electric motor (motor hybrid). The main results of this study identified an array of energy consumption of 92.11%, fossil fuel (pure diesel) and 7.89% of renewable fuel (biodiesel). Emissions from this consumption resulted in a total of 199,554.10 metric tons of CO₂ eq, of this total 14749.18 metric tons of CO₂ come from burning biomass. Compared emissions per capita the same industry nationally, public transport in Curitiba, urban bus emits about 82 % less GHGs. The use of biodiesel in public transport in Curitiba in the same period avoided the emission of 10,000 metric tons of CO₂. The results of the opacity tests showed that the hybrid operating B100 emits around 93% less black smoke. For the economic analysis, a savings of R \$ 62,558,868.08, value if the entire fleet of Curitiba was hybrid, with the total volume of fuel used, would get up this would cover twice the public health expenditures arising emissions of public transport in the most populous capital of South America, Sao Paulo.

Keywords: Hybrid Bus, GHG Emissions, Public Transport.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG - Ácidos Graxos

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CH₄ - Metano

CO - Monóxido de carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

COPs - Conferências das Partes Signatárias da Convenção Quadro sobre Mudanças Climáticas

DOU - Diário Oficial da União

FGV - Fundação Getulio Vargas

GEE - Gases de Efeito Estufa

GWP - Global Warming Potential

Hab - Habitantes

HFCs - Hidrofluorcarbonos

HPAs - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

IEA - International Energy Agency

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

ISO - International Organization for Standardization

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MP - Materiais Particulados

MPTS - Material Particulado Total em Suspensão

Mt - Mega Tonelada

N₂O - Óxido Nitroso

NC - Número de Cetano

NF₃ - Trifluoreto de azoto

O₃ - Ozônio

PF - Ponto de Fluidez

PFCs - Perfluorcarbonos

PN - Ponto de Névoa

PNMC - Política Nacional sobre a Mudança do Clima

PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

Ppm - Partes por milhão

PRO-ÁLCOOL - Programa Nacional do Alcool

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PRONAR - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

SF₅CF₃ - Pentafluoreto enxofre Trifluoromethyl

SF₆ - Hezafluoreto de Enxofre

SO₂ - Dióxido de enxofre

TAG - Triglicerídios.

URBS - Empresa de Urbanização de Curitiba S/A

US EPA - United States Environmental Protection Agency

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development

WRI - World Resources Institute

µg m⁻³ - Micron grama por metros cúbicos

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Reação de transesterificação.....	17
Figura 2 Uso de combustível no mundo	20
Figura 3 Tecnologias de Redução e Consumo de Combustíveis.....	21
Figura 4 Emissões totais de GEEs entre 1990 e 2005 e suas projeções em 2020...	23
Figura 5 Comparativo das emissões entre os anos de 2005 e 2010 no Brasil, por setor.	25
Figura 6 Limites de emissões ao longo das fases do PROCONVE para veículos pesados.....	28
Figura 7 – Esquema Funcionamento de um VEH tipo paralelo	35
Figura 8 Fluxograma da metodologia adotada no trabalho.	37
Figura 9 Vista do Município de Curitiba	39
Figura 10 Etapas no manuseio com a calculadora	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Potencial de Aquecimento Global (GWP) de alguns GEEs em 100 anos ..7	
Quadro 2 Limites máximo de opacidade dos veículos fabricado anterior a 1996.....30	
Quadro 3 Limites de opacidade em aceleração livre de veículos a diesel posterior a 1996	30
Quadro 4 Princípios GHG Protocol	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Matriz Energética Consumo de Combustível Fóssil e Renovável.....	46
Gráfico 2 Resultados emissões GEEs frota fóssil.....	48
Gráfico 3 Emissões GEEs Frota Renovável Híbrida B5	50
Gráfico 4 :Emissões totais de GEE transporte público de Curitiba.....	52
Gráfico 5 Emissões Totais e Emissões Evitadas pelo uso de Biodiesel com fatores de emissão US EPA e Brasil.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Fatores de Emissão.....	40
Tabela 2 Comparativo do consumo de combustível ônibus diesel e híbrido	44
Tabela 3 : Quantidade de emissão de CO ₂ , Nox e PM por ônibus em 1 ano com 70.000 Km rodados.	44
Tabela 4 Consumo total de combustível diesel e biodiesel utilizado no transporte público em um ano na cidade de Curitiba.	45
Tabela 5 Resultados dos ensaios de teste de Opacidade	57
Tabela 6 Resultados Análise Econômica: Comparação de gasto com combustível em dois diferentes ônibus.....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	4
1.1.1 Objetivos Específicos	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	5
2.1.1 Principais GEEs e sua Equivalência em CO ₂	6
2.2 PRINCIPAIS POLUENTES E SEUS EFEITOS NO ORGANISMO	7
2.2.1 Material Particulado na Atmosfera	8
2.2.2 Óxidos de Nitrogênio	9
2.2.3 Smog Fotoquímico	10
2.3 COMBUSTÍVEIS	10
2.3.1 Caracterização de Combustível em Motores de Ignição por Compressão ..	11
2.3.2 Óleo Diesel	15
2.3.3 Biodiesel	16
2.3.3.1 Reação de Transesterificação	17
2.4 ENERGIA E CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR DE TRANSPORTE.	19
2.5 COMPROMISSO BRASILEIRO E COMUNICAÇÃO NACIONAL	21
2.5.1 Emissões Oriundas do Setor Transporte no Brasil	25
2.6 TRANSPORTE COLETIVO E EMISSÕES NA CIDADE DE CURITIBA	26
2.7 POLÍTICAS PÚBLICAS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO NO TRANSPORTE ..	28
2.7.1 O GHG <i>Protocol</i>	32
2.8 TECNOLOGIA HÍBRIDA E ENERGIAS RENOVÁVEIS NO TRANSPORTE PÚBLICO	34
2.8.1 Tipos de Veículos Híbridos	35
3 METODOLOGIA	37
3.1 ELABORAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS	38
3.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO GHG <i>PROTOCOL</i>	38
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DAS EMISSÕES	42
3.4 EMISSÕES POLUENTES	42

3.5 ANÁLISE COMPARATIVA DAS EMISSÕES EVITADAS E ECONÔMICA, EM RELAÇÃO À TECNOLOGIA HÍBRIDA	43
3.5.1 Emissões Evitadas.....	43
3.5.2 Análise Econômica sobre o Consumo de Combustível.....	43
4 RESULTADOS.....	45
4.1 MATRIZ ENERGÉTICA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NO SETOR DE TRANSPORTE PÚBLICO DA CIDADE DE CURITIBA	45
4.2 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES	47
4.2.1 Emissões Frota Fóssil.....	47
4.2.2 Emissões Frota Renovável B100.....	48
4.2.3 Emissões Frota Renovável Híbrida: B5 e B100	49
4.2.4 Emissões Totais de GEE	51
4.3 RESULTADOS TESTES DE OPACIDADE	56
4.4 EMISSÕES EVITADAS	58
4.5 ANÁLISE ECONÔMICA	60
5 CONCLUSÕES.....	63
6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	64
7 REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, a utilização dos recursos de origem fóssil tem contribuído de forma significativa para o desenvolvimento das sociedades. Entretanto, a humanidade tem presenciado verdadeiros colapsos e catástrofes ambientais, devido ao aumento das emissões de gases poluentes potencializadores do efeito estufa.

No ano de 1988, foi criado o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), que reúne cientistas de todos os lugares do mundo a fim de discutir esforços para construir e divulgar maiores conhecimentos acerca da mudança climática causada pelo homem. Ainda, visa estabelecer as bases para medidas necessárias a fim de neutralizar tais mudanças e planejar o posicionamento econômico da humanidade perante as mudanças climáticas.

O IPCC desenvolveu metodologias para elaboração de inventários de emissões, que são caracterizadas por setores, onde vão desde a aplicação de fatores de emissão até a medição direta, com as respectivas bases metodológicas, estimando e quantificando, os setores da economia dos países com vistas a fornecer orientações de boas práticas para auxiliar os países na elaboração dos inventários priorizando o controle da qualidade e a eficiência no uso dos recursos (IPCC, 2006).

De acordo com o IPCC (2006), os gases de efeito estufa (GEE) compreendem: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hexafluoreto de enxofre (SF_6), as famílias dos perfluorcarbonos (PFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), Trifluoreto de azoto (NF_3), Pentafluoreto enxofre Trifluoromethyl (SF_5CF_3) e, ainda, Éteres halogenados e outros Halocarbonos.

As consequências das sucessivas e incontroláveis emissões destes gases causam o aquecimento global, que é considerado o principal problema ambiental da atualidade. Isto porque, vem afetando todo o planeta e comprometendo irremediavelmente o equilíbrio dos ecossistemas. Estimativas indicam que estas alterações poderão ser catastróficas diante da contínua tendência de aumento da população mundial (SEIFFERT, 2009).

Além disto, efeitos advindos destas catástrofes estão sendo considerados um grande problema de saúde pública devido aos danos a saúde das populações (EPA, 2013). Dentre os principais poluentes que afetam diretamente a saúde humana pode-se destacar: o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), as substâncias orgânicas tóxicas, os materiais particulados (MP) e, ainda, os advindos do efeito do smog fotoquímico dos quais cita-se os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis (GUARIERO *et al.*, 2011).

O setor de transporte público tem parcela significativa nas emissões tanto de GEEs quanto de poluentes que contribuem para o aquecimento global e, aos danos ocasionados à saúde das populações, respectivamente. Ambos são advindos da combustão móvel nos veículos do setor, que responde por cerca de 30% do consumo comercial de energia no mundo e, 60% do consumo total mundial de petróleo (IEA, 2009). No Brasil, o consumo de diesel em 2009, foi responsável por 53% do total das emissões de CO₂ do setor (BRASIL, 2011), ao passo que a poluição no estado de São Paulo, entre os anos de 2006 e 2011 foi responsável por 17.443 mortes (VORMITTAG *et al.*, 2013).

Dentro deste cenário, as energias renováveis podem desempenhar papel importante de limitador das consequências ambientais, uma vez que podem substituir total ou parcialmente, as energias fósseis, contribuindo para a diversificação da matriz energética do país e do mundo. Entre os combustíveis renováveis, o biodiesel é uma mistura de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou gorduras animais, obtido através da reação de transesterificação que ocorre na presença de óleo, álcool e de um catalisador (DABDOUB e BRONZEL, 2009). Em relação ao óleo diesel utilizado no setor de transportes brasileiro nos motores de ignição por compressão, o biodiesel emite cerca de 75% menos CO₂, se utilizado puro, nestes mesmos motores (DÁLIA, 2006).

Neste sentido, o biodiesel está presente na matriz energética brasileira, regulamentado pela lei 11.097 de 13 de maio de 2005, com adição 5% de biodiesel (B5) no óleo diesel. Com esta adição, o Governo Federal pretende reduzir em 3% a emissão de CO₂ da queima do combustível (BRASIL, 2005).

Os veículos híbridos também têm surgido no país como uma alternativa para a redução das emissões de CO₂ no setor rodoviário, principalmente em grandes capitais do país. Funcionam com um motor de combustão interna, porém também

são capazes de converter energia em eletricidade, que é estocada em uma bateria até que o motor elétrico entre em funcionamento, tracionando o veículo, economizando assim a energia requerida pelo motor de combustão interna. Isso permite que o motor de combustão interna seja mais eficiente, use menos combustível, reduzindo assim significativamente a emissão de gases do efeito estufa (QUEIROZ, 2006).

Recentemente, na cidade de Curitiba, houve a inclusão de 30 hibribus na frota do transporte coletivo da cidade com motor elétrico e motor do ciclo diesel operando a diesel e a biodiesel. Os veículos movidos à eletricidade e biodiesel podem reduzir em até 90% a emissão de poluentes, na comparação com os ônibus que circulam atualmente. Acredita-se que este modelo modal possa servir de referência a outras capitais do país, uma vez que com a redução das emissões dos GEE, reduz os riscos de doenças para a população local, oriundas das mudanças climáticas (RASPANTI, 2013).

Destarte, a humanidade precisa de soluções sustentáveis que limitem a concentração de GEEs na atmosfera e, uma maneira de realizar tais intervenções é através da visualização das emissões, ou seja, quanto é emitido de cada gás. O *GHG Protocol* é uma ferramenta que possibilita, através de sua metodologia, a realização de inventários de gases de efeito estufa. É um programa brasileiro compatível com as normas ISO e com as diretrizes de qualificações do IPCC para contabilização, cálculo, elaboração e publicação de relatório voluntário de GEEs, com vistas a oferecer soluções que contribuam para uma economia de baixo carbono.

Assim, o presente estudo quantificou as emissões de gases oriundas do setor de transporte coletivo ônibus urbano da cidade de Curitiba, durante os meses de setembro de 2012 a agosto de 2013, em três diferentes combustíveis: combustível convencional (diesel), combustível renovável (biodiesel), motor elétrico diesel e biodiesel (motor híbrido). Elencando benefícios econômicos, ambientais e sociais com a inserção de tecnologias renováveis inseridas no setor de transporte, com vistas a contribuir com o conhecimento acerca da necessidade de redução de derivados do petróleo e a consequente redução de GEEs.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo geral quantificar as emissões do setor de transporte público ônibus urbano na cidade de Curitiba, Paraná, no período compreendido entre os meses de setembro de 2012 a agosto de 2013 e, avaliar o uso da tecnologia híbrida e do combustível renovável biodiesel, como proposta de redução das emissões de GEEs e poluentes.

1.1.1 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar a matriz energética do consumo de combustíveis no transporte público ônibus urbano de Curitiba-PR;
- b) Quantificar as emissões de GEEs utilizando a metodologia disponível no *GHG Protocol*;
- c) Avaliar os resultados obtidos por testes de opacidade comparando as frotas: diesel, híbrido B5 e híbrido B100;
- d) Comparar as emissões decorrentes de veículos convencionais a diesel, biodiesel e motor elétrico diesel e biodiesel, emissões evitadas;
- e) Analisar, sob o aspecto econômico, o consumo de combustível por tipo de veículo percorrendo a mesma quilometragem, comparando os gastos entre o modelo BR7 VOLVO e Híbrido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Durante a gênese do planeta, o efeito estufa foi fundamental para o surgimento da vida, bem como sua permanência nele. Formado a partir da liberação de gases oriundos de atividades vulcânicas, tais como: dióxido de carbono, clorofluorcarbonetos, metano, ozônio e óxido nitroso. Estes gases ao serem liberados tendem a se concentrar na troposfera em baixa altitude formando uma camada que funciona como uma película protetora. Embora a radiação solar consiga atravessá-la, o calor formado a partir do contato com a energia solar se acumula, não sendo dissipado para a atmosfera permanecendo envolto entre as moléculas do efeito estufa (SEIFFERT, 2009).

Assim, o efeito estufa é responsável pela filtração dos raios ultravioletas do sol, nocivos ao ecossistema terrestre. O que ocorre é que, além de este evento ser um evento natural na atmosfera, durante milênios, a ação do homem (Antrópica) contribuiu com um grande acréscimo de gases á atmosfera, principalmente a partir da queima de combustíveis fósseis (SEIFFERT, 2009).

O primeiro instrumento internacional a versar sobre as alterações climáticas foi projetado na cidade de Nova York em 9 de maio de 1992 e foi concebido durante a Cúpula da Terra (Earth Summit) ou Eco 92, no Rio de Janeiro que ocorreu entre os dias 04 e 14 de Junho de 1992. Conhecida como a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (United framework Convention on Climate Change - UNFCCC) e teve sua vigência iniciada em 21 de março de 1994 (SISTER, 2008).

A partir deste documento, houve um grande consenso de que o sistema climático é um recurso compartilhado cuja estabilidade pode ser afetada por emissões de dióxido de carbono e outros gases que contribuem para o efeito estufa, sendo que este tratado foi assinado por um grande número de países onde se estabeleceram ações e metas para a redução das emissões de GEEs.

Desde sua vigência, diversas reuniões foram executadas pelos países participantes, denominadas Conferências das Partes Signatárias da Convenção

Quadro sobre Mudanças Climáticas (COPs), realizados uma vez ao ano onde servem de fórum para debate das questões climáticas (SISTER, 2008).

O mais importante documento a versar e, estabelecer metas para reduzir as emissões de gases de efeitos estufa foi redigido durante o COP3, assinado no ano de 1997, o Protocolo de Kyoto. Nessa convenção, firmou-se o compromisso por parte dos países desenvolvidos, em reduzir a emissão de GEEs e, que estas deveriam ser cumpridas, no primeiro período do Protocolo que compreende os anos de 2008 a 2012, tendo como principal objetivo a redução das emissões de poluentes em média 5,2 % abaixo dos níveis do ano de 1990, por 39 países industrializados listados no anexo 1 do referido documento (BRASIL, 2013).

2.1.1 Principais GEEs e sua Equivalência em CO₂

Devido à diferença de potencial dos gases em relação a sua contribuição para o aquecimento global, determinou-se sua medida em equivalência em CO₂. Ela é usada para comprar as emissões de diversos GEEs, tendo como base a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) que teria o mesmo potencial de aquecimento global, do inglês, Global Warming Potential (GWP), medido em um determinado período de tempo, estimando e quantificando quanto do impacto ambiental foi gerado por uma mesma quantidade de uma diferente espécie de gás (SEIFFERT, 2009).

O CO₂ equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de um determinado GEE pelo seu potencial de aquecimento global. Assim o GWP de determinado gás expressa quanto mais, ou quanto menos, o mesmo tem o potencial de contribuir para o efeito estufa comparado com a mesma quantidade de CO₂ emitida ao mesmo tempo (SEIFFERT, 2009).

Considerando um período de 100 anos como referência, o GWP do CO₂ corresponde a 1 (um), o metano (CH₄) equivale a vinte e um e, o óxido nitroso (N₂O) equivale a trezentos e dez, conforme observa-se na quadro 1. Desta forma, pode-se inferir que o potencial de aquecimento global do N₂O é trezentos e dez vezes maior do que o potencial do CO₂. Assim, uma tonelada de CO₂ corresponde a um crédito de carbono, enquanto que o N₂O corresponde a trezentos e dez créditos de carbono.

Quadro 1: Potencial de Aquecimento Global (GWP) de alguns GEEs em 100 anos

Grupo	Nome	Equivalência
CO ₂	Dióxido de Carbono	1
CH ₄	Metano	21
N ₂ O	Óxido Nitroso	310

FONTE: SEIFFERT, (2009).

2.2 PRINCIPAIS POLUENTES E SEUS EFEITOS NO ORGANISMO

Quando respiramos, o ar entra pelas vias respiratórias, passa pela faringe, traquéia e vai para os brônquios. Lá ele passa pelos alvéolos que são unidades respiratórias do pulmão onde se realizam as trocas gasosas. São nos alvéolos que ocorrem as trocas de gás carbônico que é expirado por oxigênio (CCSP, 2008).

Quando inalamos uma fumaça, por exemplo, menos oxigênio vem para o organismo dificultando a respiração e, a substituição de oxigênio por uma maior concentração de monóxido de carbono que liga-se rapidamente ao sangue, podendo ocasionar doenças respiratórias e em alguns casos até levar a morte (CCSP, 2008).

A principal emissão de CO é advinda do transporte rodoviário. Nos seres humanos, a sua inalação é visto como um veneno, uma vez que, pode deslocar a ligação do O₂ á hemoglobina. Os sítios ativos da hemoglobina ligam-se com o CO 320 vezes mais do que com o O₂ e, esta alta afinidade significa que, no sangue o CO ocupa aproximadamente 1% dos sítios de ligação da hemoglobina (SPIRO E STIGLIANI, 2009).

Assim, quando a concentração do ambiente atinge 100 ppm de CO a ocupação do percentual dos sítio de ligação de hemoglobina se eleva para 16% podendo causar dores de cabeça e falta de ar. A gravidade dos efeitos depende da duração da exposição e do nível de esforço, isto porque o CO inalado leva algum tempo para se equilibrar com o sangue em circulação (SPIRO E STIGLIANI, 2009).

Essa substituição de monóxido de carbono por oxigênio na hemoglobina em níveis de emissão de CO entre 200 e 250 ppm pode ocasionar perda de consciência e, em concentrações superiores a 750 ppm, rapidamente a morte (SPIRO E STIGLIANI, 2009).

Em seu trabalho, Queiroz (2006) define o monóxido de carbono como uma substância inodora, insípida e incolor, que atua no sangue prejudicando a sua

oxigenação. Relata ainda, que uma pequena quantidade, pode saturar uma grande quantidade de hemoglobina, diminuindo a capacidade de transporte de oxigênio, resultando em intoxicação e, podendo desencadear doenças do coração além de afetar o sistema nervoso central.

Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) se formam como subproduto da queima de combustível de carbono, presentes inicialmente em baixos níveis nos gases de exaustão dos veículos e, posteriormente, em maiores níveis quando grandes quantidades de partículas de fuligem são produzidas, principalmente nos gases de exaustão dos motores diesel. Sua inalação é considerada como um potencial carcinogênico além de sua presença na água poder causar mutações genéticas (GUARIERO *et al.*, 2011).

2.2.1 Material Particulado na Atmosfera

São denominados materiais particulados as partículas sólidas ou líquidas presentes na atmosfera e, sua quantificação é conhecida por Material Particulado Total em Suspensão (MPTS) que, constitui uma medida de massa total por unidade de volume expresso em $\mu\text{g m}^{-3}$ (ROCHA *et al.*, 2009).

As partículas sólidas são emitidas durante a combustão dos combustíveis e a queima de biomassa. Elas podem ser constituídas por uma ampla variedade de substâncias e, a maior preocupação para a saúde na emissão de partícula está presente em partículas com diâmetro de 2,5 μm e 10 μm denominadas PM 2.5 e PM 10, respectivamente (IARC, 2006).

As partículas menores do que 2,5 μm são conhecidas como finas e as maiores a 2,5 μm são conhecidas como grossas, vale ressaltar que quanto menor for a partícula, maior dano esta pode causar a saúde humana, uma vez que possuem grande potencial de atingir o pulmão e lá ficarem retidas (IARC, 2006).

As partículas de fuligem estão presentes nos gases de combustão dos motores diesel ou ainda, na fumaça da queima da madeira. A queima do carvão libera tanto a fuligem quanto o SO_2 e, constitui um grande problema uma vez que são capazes de adsorver quantidades significativas de substâncias tóxicas em suas superfícies irregulares (IARC, 2006).

2.2.2 Óxidos de Nitrogênio

O ar atmosférico é uma mistura de diferentes gases sendo composto de 78% de nitrogênio, 21% o oxigênio e, 1% de outros gases em seu volume. Durante os processos de queima de qualquer material com o ar, o calor gerado faz com que o nitrogênio se combine com o oxigênio originando como produto o óxido de nitrogênio e, quanto maior a temperatura, maior a quantidade formada (ROCHA *et al.*, 2009).

Os dióxidos de nitrogênio (NO_2), por exemplo, são encontrados em quantidades significativas e desempenham papel fundamental nas reações químicas da atmosfera. É um gás incolor, emitido principalmente por fontes naturais, por meio da ação bacteriana entre a reação do N_2 e O_3 (ROCHA *et al.*, 2009).

O óxido nítrico (NO) é um gás incolor e inodoro produzido na natureza por ação de micro organismos. Na atmosfera, por processos fotoquímicos, ele é oxidado rapidamente a ozônio (O_3) e, mais lentamente, por oxigênio, formando em ambos os casos o dióxido de nitrogênio (NO_2). Assim, o NO_2 é formado pela reação de oxidação do NO, e a soma de NO_2 e NO é denominado NO_x (ROCHA *et al.*, 2009).

Em altas concentrações o NO_2 é um gás avermelhado, com odor irritante sendo um dos principais poluente secundários presentes em grandes centros urbanos. Os NO_x desempenham um papel fundamental na formação de novos compostos na atmosfera como por exemplo o ozônio (ROCHA *et al.*, 2009).

O N_2O é produzido pela atividade microbiológica nos processo de nitrificação de desnitrificação. Quase 90% do N_2O da atmosfera foram gerados durante a transformação microbiológica da NH_3 em NO_3 (IPCC, 2001).

Alguns estudos indicam que antes da revolução industrial, em regiões remotas, o intervalo de concentração para o ozônio era de 10 -15 partes por bilhão (ppb). Porém, medidas em locais poluídos já mostravam valores de 500ppb, fora do estado fotoestacionário descrito. Em 1988, a cidade de São Paulo foi responsável pela emissão de 245 mil toneladas por ano de NO_x para atmosfera, com 82% da contribuição proveniente de veículos automotores (ROCHA *et al.*, 2009).

2.2.3 Smog Fotoquímico

Os compostos de nitrogênio e os oxidantes atmosféricos tem função essencial na formação do smog fotoquímico. O termo fotoquímico é utilizado porque a luz desempenha papel fundamental para ativar as reações (ROCHA *et al.*, 2009).

O fenômeno ocorre com maior intensidade em grandes metrópoles em dias de muito sol e pouco vento quando as cidades ficam envoltas a uma névoa (smog). Este fenômeno é observado com grande intensidade em cidades como Curitiba e São Paulo, por exemplo, e esta última em maior periodicidade, principalmente no inverno, em dias de muito sol e pouco vento pois, nestas ocasiões é possível (geralmente em pessoas mais sensíveis) observar um desconforto visual, provocados pelos oxidantes, aldeídos e PAN (ALVIN, 2013).

Os principais ingredientes na formação do smog fotoquímico são os óxidos de nitrogênio citados acima, além dos hidrocarbonetos voláteis que se formam sempre que uma grande quantidade destes gases de exaustão presentes em veículos automotores e indústrias são confinados por uma inversão térmica quando expostos ao sol.

O smog fotoquímico é uma mistura de O_3 e outros compostos orgânicos, o NO_2 gasoso ao receber a radiação solar, forma o NO e O assim, o radical oxigênio reage com a molécula do oxigênio presente no ar, formando o ozônio na troposfera, que além de tóxico é um forte agente oxidante. O smog, diminui a taxa de fotossíntese dos vegetais, causando sérios problemas respiratórios e em casos mais graves podendo levar a morte (ALVIN, 2013).

2.3 COMBUSTÍVEIS

O combustível representa uma substância química que, quando entra em contato com um oxidante¹, pode produzir uma reação que libera calor (em forma de energia) denominado reação exotérmica. Compostos formados por carbono e hidrogênio são, geralmente, considerados bons combustíveis. Contudo, carbono e hidrogênio apresentam-se acompanhados nesta composição por outros elementos,

¹ Em uma combustão, na sua maioria das vezes o oxidante é o ar atmosférico, cuja composição volumétrica aproximada é 78,08% de nitrogênio, 20,95 % de oxigênio, 0,93% argônio, 0,03 % de dióxido de carbono e 0,01% de outros gases (neônio, hélio, metano, etc) (PERRY e CHILTON, 1973).

como enxofre, nitrogênio e oxigênio, além de pequenas quantidades de metais como vanádio e sódio que, quando, utilizados em aplicação de combustível veicular, por exemplo, ferro, alumínio e outros compostos podem entrar em composição (CARVALHO JUNIOR e MCQUAY, 2007).

Diversos fatores devem ser analisados quando se trata de qualidade de combustíveis, dentre estes citam-se: a eficiência do processo, características de formação de poluentes, facilidade de controle e presença de impurezas. Os combustíveis, quanto a sua origem podem ser: naturais e artificiais; e, quanto ao estado de agregação: sólidos, líquidos ou gasosos.

Os combustíveis naturais incluem sólidos como carvão mineral, por exemplo, líquidos como petróleo e, gasosos, gás natural. Os combustíveis artificiais resultam do processamento dos combustíveis naturais podem ser sólidos como, por exemplo, o coque de petróleo, líquidos como a gasolina e gasoso como a gás de coqueira (CARVALHO JÚNIOR e MCQUAY, 2007).

A combustão é a queima de um material com o oxigênio do ar e neste processo há a liberação gases e partículas. As partículas formadas apresentam vários tamanhos: as maiores são visíveis na forma de fumaça e as menores, são impossíveis de serem visualizadas. Os gases formados na combustão são invisíveis aos olhos humanos e não tem cheiro ou se acham em quantidades insuficientes para serem detectados pelo odor. Para prever quais são os possíveis gases emitidos durante um processo de combustão faz-se necessário conhecer a composição do material combustível.

2.3.1 Caracterização de Combustível em Motores de Ignição por Compressão

A utilização de óleo como combustível no Brasil assume interesse político durante a segunda guerra mundial, onde a exportação de óleo de algodão no Brasil foi proibida porque este produto poderia ser utilizado para substituir as importações de óleo diesel no país (DABDOUB e BRONZEL, 2009).

Os maiores componentes presentes nos mais diversos tipos de óleos são os triacilgliceróis, comumente chamados de triglicerídios (TAG). Quimicamente os TAG são ésteres de ácidos graxos (AG) 1,2,3-Propanotriol, que é o glicerol, usualmente conhecido como glicerina. Tipicamente diferentes tipos de AG estão presentes nos TAG (SIVAPRAKASAN e SARAVANAN, 2007).

Neste contexto, diferentes tipos de AG podem estar ligados à cadeia do glicerol e, quando contidos nos TAG revelam o perfil ou composição dos ácidos graxos de vários tipos de óleo vegetal e/ou animal. Assim, os AG constituem o parâmetro de maior influência sobre as propriedades dos mais diversos tipos de óleos extraídos de plantas oleaginosas (VAN GERPEN e KNOTHE, 2006).

No entanto, a utilização direta de óleos vegetais e/ou mistura de óleos vegetais com diesel não deve ocorrer pelo fato dos mesmos apresentarem alta viscosidade e altos índices de ácidos graxos livres entre outros (FERRARI *et al.*, 2005).

Isto porque nos motores diesel, conhecidos por motores de ignição por compressão, onde o ar entra no cilindro através do coletor de admissão, este ar é comprimido a altas temperaturas e pressão. E, quando em contato com o ar em altas temperaturas, o combustível vaporiza-se rapidamente e ao misturar-se com o ar, provocam reações químicas espontâneas resultando no fenômeno conhecido como ignição espontânea ou autoignição (FONTANA, 2009).

A duração do tempo envolvido no processo de combustão deve ser precisamente controlada para proporcionar baixas emissões e otimizar a eficiência do combustível (CARVALHO JÚNIOR e MCQUAY, 2007).

Neste sentido, observa-se que, para o mecanismo de funcionamento dos motores diesel, uma das propriedades mais importantes presentes em óleos diesel é a sua característica de autoignição nas temperaturas e pressão presentes no cilindro, quando o diesel combustível é injetado. O teste número de cetano (NC) tem como finalidade comparar a tendência de autoignição de uma amostra de combustível com misturas de combustível formadas por dois padrões de referência, o cetano (hexadecano) e o heptametilnonano (VAN GERPEN, 2006).

Combustíveis com alto NC terão pequenos retardamentos de ignição e pequenas quantidades de combustível estarão presentes na fase de combustão em pré-mistura, devido ao pequeno tempo do preparo do combustível no sistema do motor diesel para a combustão (VAN GERPEN, 2006). Com isto, faz-se importante

destacar que para o diesel combustível, o conteúdo de energia (calor de combustão) contida no combustível, é fator fundamental no desempenho dos motores diesel (GARCIA, 2002).

Óleo diesel com altas percentagens de aromáticos tende a ter altos conteúdos de energia por litro, ainda que aromáticos tenham baixos poderes caloríficos por quilograma, sua alta densidade compensa em maior grau o seu baixo conteúdo energético, isto levando em consideração a massa do combustível, uma vez que no funcionamento dos motores diesel o combustível é fornecido volumetricamente para o motor (FONTANA, 2009).

Um combustível com baixo conteúdo energético por litro causará uma redução na potência máxima desenvolvida pelo motor. Em condições de cargas parciais de injeção de combustível, o motor fornecerá a potência necessária, mas quando esta não for satisfatória levando em conta suas propriedades, uma maior quantidade volumétrica terá de ser injetada, aumentando o volume de combustível, ocasionando aumento das emissões de NO_x (FONTANA, 2009).

A importância da qualidade do combustível é fator fundamental para o controle de emissões e, conseqüentemente, para o bom funcionamento dos motores. Em condições ótimas, todo o carbono do combustível diesel, queimaria transformando-se em dióxido de carbono, ao passo que o hidrogênio, em vapor de água. Mas, se o combustível tiver enxofre, este será oxidado transformando-se em dióxido e trióxido de enxofre. Estes óxidos de enxofre podem reagir com o vapor de água formando ácido sulfúrico e outros componentes sulfatados, e assim, formar partículas na exaustão e elevar o nível de material particulado que estarão presentes na exaustão (FERNANDES, 2011).

De acordo com Lee *et al.* (1995), o combustível diesel contém pequenas quantidades de hidrocarbonetos de cadeia longa, denominados de ceras ou parafinas que se cristalizam em temperaturas contidas na faixa normal de operação dos motores diesel e, no entanto, se as temperaturas forem baixas, os cristais de parafina se aglomerarão entupindo os filtros de combustível e impedindo o funcionamento do motor. Se as temperaturas forem muito baixas, o combustível se solidificará.

Testes são utilizados para medir a tendência do entupimento do filtro, e o teste de ponto de névoa (PN) é caracterizado pela temperatura na qual tem início a visualização de névoa no combustível, outro teste é o ponto de fluidez (PF) que é determinado pela temperatura mínima na qual o combustível ainda pode fluir através de um vaso recipiente (VAN GERPEN, 2006) e (HOU e SHAW, 2008).

Para contribuir com a redução destes problemas, aditivos são utilizados como redutores do ponto de fluidez para diminuir a aglomeração de cristais de ceras ou parafinas, fazendo com que ocorra uma redução no ponto de entupimento dos filtros (LEE *et al.*, 1995).

A viscosidade é outro parâmetro de qualidade do diesel, hidrocarbonetos contidos na faixa de destilação do diesel são determinados por norma para especificação da viscosidade através da fiscalização na Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Grande parte dos sistemas de injeção diesel comprimem o combustível a ser injetado, usando uma bomba de pistão e um cilindro. Para atingir altas pressões requeridas pelos sistemas de injeção, as folgas entre o êmbolo e o cilindro são da ordem de $\sim 0,0001''$ (0,00025 cm). Mesmo esta folga sendo relativamente pequena, uma quantidade significativa vaza através do êmbolo durante a compressão e, se a viscosidade do combustível for baixa, o vazamento acarretará em perda de potência da máquina (HEYWOOD, 1998).

Se a viscosidade for alta, a bomba injetora não será capaz de fornecer combustível suficiente para câmara de bombeamento e, também, acarretará em perda de potência do motor. Uma viscosidade em excesso, pode acarretar a degradação da pulverização do cilindro e, reduzir a eficiência da atomização, com isto, ocorre a contaminação do óleo lubrificante e, conseqüentemente, a produção de fumaça preta (VAN GERPEN, 2006).

Nos motores diesel, partes dos sistema de injeção são constituídos por aço de alto teor de carbono, que podem sofrer corrosão quando em contato com água além de falhas prematuras no sistema de injeção diesel. A água pode estar presente no combustível de forma dissolvida ou livre e, respectivamente, suas conseqüências correspondem à estabilidade do combustível e a corrosão (VAN GERPEN, 2006) e (HEYWOOD, 1998).

Ainda para a corrosão, os compostos de enxofre encontrados no diesel, podem contribuir para este efeito. Componentes de cobre são particularmente suscetíveis a este tipo de corrosão e, por isso, o cobre é usado como indicador de tendência de corrosão nos metais, onde uma lâmina de cobre polida é mergulhada no combustível para determinar a tendência de corrosão nos metais indicando os níveis permissíveis para que haja um bom desempenho no motor (MARTINELE Jr., 2008).

A utilização de filtros de diesel tem representado uma forma de obtenção para reter estes materiais particulados, no entanto, os filtros podem entupir devido à presença desses materiais estranhos. A presença de oxigênio no ar quando o combustível esta presente em altas temperaturas pode causar transformações químicas formando compostos insolúveis no próprio combustível, a partir desta formação surgem depósitos de verniz e sedimentos que podem obstruir orifícios e colar em partes móveis, causando assim o engripamento² (MARTINELLI, 2008).

2.3.2 Óleo Diesel

O óleo diesel é um combustível derivado do petróleo sendo constituído basicamente por hidrocarbonetos. Alguns compostos presentes no diesel, além de apresentar carbono e hidrogênio, apresentam também enxofre e nitrogênio. Produzido a partir da refinação do petróleo, o óleo diesel é formulado através da mistura de diversas correntes como querosene, gasóleos, nafta pesada, diesel leve, diesel pesado, etc., provenientes das diversas etapas de processamento do óleo bruto (CNT, 2012).

As proporções destes componentes no óleo diesel são aquelas que permitem enquadrar, o produto final, dentro das especificações previamente definidas e que são necessárias para permitir um bom desempenho do produto, além de minimizar o desgaste nos motores e componentes e manter a emissão de poluentes, gerados na queima do produto, em níveis aceitáveis.

Segundo a RESOLUÇÃO ANP Nº 65, DE 9.12.2011, publicada no DOU em 12.12.2011 fica assim classificado os tipos de óleo utilizado no setor de transporte brasileiro e seus respectivos teores de enxofre, a saber:

² Engripamento no motor é uma anomalia que pode causar escoriações em um motor pelo rompimento do filme de óleo quando o pistão se dilata (BRASIL, 2009).

Art. 2º Para efeitos desta Resolução os óleos diesel de uso rodoviário classificam-se em:

I - Óleo diesel A: combustível produzido por processos de refino de petróleo, centrais de matérias-primas petroquímicas ou autorizado nos termos do § 1º do art. 1º desta Resolução, destinado a veículos dotados de motores do ciclo Diesel, de uso rodoviário, sem adição de biodiesel;

II - Óleo diesel B: óleo diesel A adicionado de biodiesel no teor estabelecido pela legislação vigente.

Art. 3º Fica estabelecido, para efeitos desta Resolução, que os óleos diesel A e B deverão apresentar as seguintes nomenclaturas, conforme o teor máximo de enxofre:

I - Óleo diesel A S10 e B S10: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 10 mg/kg;

II - Óleo diesel A S50 e B S50: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 50 mg/kg;

III - Óleo diesel A S500 e B S500: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 500 mg/kg;

IV - Óleo diesel A S1800 e B S1800: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 1800 mg/kg.

Por esta especificação, foi definida a obrigatoriedade das capitais dos estados de Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Bahia e São Paulo de comercializarem exclusivamente em suas frotas cativas de ônibus urbano o óleo diesel B S10, garantindo o abastecimento de suas frotas de ônibus urbano com 40 mg/kg de teor de enxofre a menos quando comparado ao abastecimento anterior que previa a obrigatoriedade do diesel S50.

2.3.3 Biodiesel

O biodiesel possui características similares ao diesel, em praticamente todas as suas propriedades, além de apresentar várias vantagens adicionais em comparação ao combustível fóssil das quais: ser derivado de matérias-primas renováveis, ser biodegradável, gerar redução nas principais emissões presentes nos

gases de exaustão (com exceção do óxido de nitrogênio), possuir um alto ponto de fulgor e apresentar excelente lubricidade (FERRARI *et al.*, 2005).

2.3.3.1 Reação de Transesterificação

Para reduzir a alta viscosidade dos óleos vegetais e, assim obter o biodiesel, o método mais difundido é transesterificação (SIVAPRAKASAM e SARAVANAN 2007). O processo de transesterificação é o método mais comum e leva a obtenção de alquilmonoésteres de óleos vegetal e ou gordura animal hoje denominado biodiesel quando empregado para fins combustíveis (VAN GERPEN, e KNOTHE, 2006).

A transesterificação é o processo no qual um éster se transforma em outro, através da troca do grupo RO, que se encontra presente no éster original, por outro no grupo semelhante proveniente de um álcool, na presença de um catalisador ou não (condições supercríticas), que conseqüentemente dão origem a glicerina e ao alquil mono éster (DABDOUB e BRONZEL, 2009).

Segundo a ANP, quando esta conversão atinge um percentual de 96,5% de ésteres, é então, denominado biodiesel. A transesterificação pode ocorrer por catálise ácida ou básica, homogênea ou heterogênea, no entanto, para o processo de produção de biodiesel a catálise homogênea, utilizando catalisadores alcalinos proporciona processos muito mais eficientes nesta conversão (SANTACESARIA *et al.*, 2007).

Apresenta-se a seguir, na figura 1, o esquema geral da reação de transesterificação:

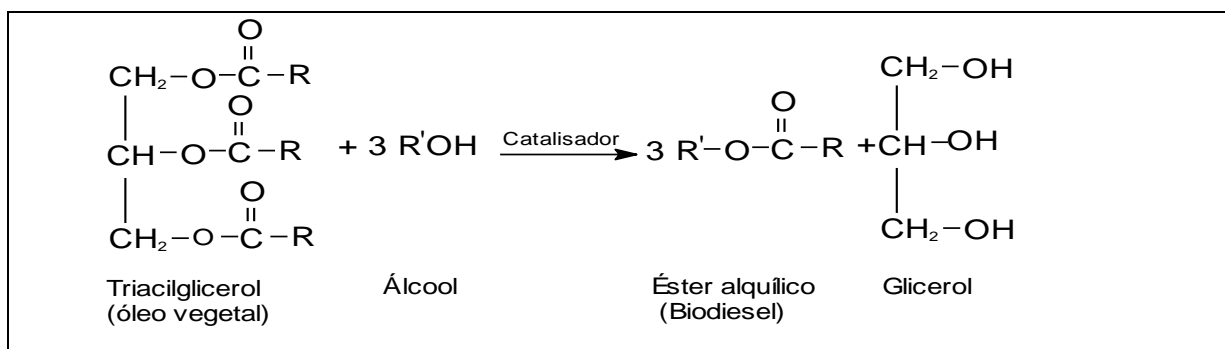


Figura 1 Reação de transesterificação

Fonte: VAN GERPEN e KNOTHE, 2006

Pelo esquema geral, observa-se que na reação de transesterificação R é uma mistura de várias cadeias de ácidos graxos. O álcool utilizado na reação foi o etanol ($R' = \text{CH}_2\text{CH}_3$). Di e monoacilgliceróis são formados como intermediários durante a reação de transesterificação (VAN GERPEN e KNOTHE, 2006).

Para processos produtivos de biodiesel com reação alcalina, parâmetros como: razão molar entre álcool e o óleo utilizado; temperatura; tempo de reação; grau de refino do óleo e o efeito da presença da umidade, além de ácidos graxos livres, devem ser observados para que a reação de transesterificação obtenha bons rendimentos (SANTACESARIA *et al.*, 2007).

Para temperatura a 32°C, a transesterificação atinge 99% de rendimento em 4h quando utilizado um catalisador alcalino como o NaOH. Em temperaturas menor ou igual a 60°C, utilizando óleo vegetal refinado em razões molares de álcool: óleo 6:1 a reação pode se completar em 1h, fornecendo ésteres (VAN GERPEN e KNOTHE, 2006).

Para obter-se rendimentos ótimos, o álcool deve ser livre de umidade e o conteúdo ácidos graxos livres do óleo vegetal deve ser inferior a 0,5% (SIVAPRAKASAM e SARAVANAN, 2007). É importante destacar que a ausência de umidade na reação é fundamental, pois pode ocorrer a hidrólise dos ésteres alquílicos sintetizados a AGL.

A produção do biodiesel é composta pelas seguintes etapas: preparação da matéria-prima, transesterificação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, destilação da glicerina e purificação do biodiesel (DABDOUB e BRONZEL, 2009). Com a exceção da preparação da matéria-prima, todas as etapas seguintes ocorrem em reatores que irão unificar o processo para obtenção do produto final, o biodiesel. Assim, a seleção do modo de operação, bem como, a análise dos parâmetros técnicos, destacam-se a fim de otimizar e viabilizar o processo produtivo.

A produção de biodiesel já é uma realidade em nosso país, devido a Lei 11097 que introduziu este biocombustível na matriz energética brasileira, através do PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel). Desde então, são adicionados gradativamente e em percentuais o B100 (Biodiesel 100% puro) ao óleo diesel comercializado pela frota de veículos (BRASIL, 2013).

O Biodiesel é, geralmente, considerado como uma alternativa em substituição aos derivados do petróleo, uma vez que é neutro em relação ao CO₂ e biodegradável, não gerando emissões significativas de compostos sulfurados.

Segundo Dullius, Paffrath e Oliveira (2008), “os estudos sobre os biocombustíveis no Brasil, iniciam-se na década de 70, principalmente impulsionados pelo choque do petróleo, ganham força no ano de 1975 com o nascimento do Programa Nacional do Álcool (PRO-ÁLCOOL), mas somente no ano de 1980 temos a primeira patente de biodiesel de autoria do Dr. Expedito Parente”.

Desde 2005, este biocombustível faz parte da matriz energética brasileira, adicionado a percentual inicial de 2% de B100 ao óleo diesel, e 1º de janeiro de 2010, devido ao sucesso do PNPB, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 5% de biodiesel. Esta regra foi estabelecida pela resolução nº 6/2009 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 26 de outubro de 2009, que aumentou de 4% para 5% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel (CNPE, 2009).

2.4 ENERGIA E CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR DE TRANSPORTE.

Mais de 50% da utilização de óleo em todo o mundo é destinada para o seu consumo no transporte e, 75% da energia utilizada no setor dos transportes são consumidos nas estradas. Este alto consumo está diretamente relacionado com o aumento das emissões de GEEs. Neste sentido, tecnologias de melhorias na eficiência energética do setor de transporte devem ser prioridade de governos, uma vez que o tratado de Kyoto obriga os países industrializados a reduzirem as emissões de gases de efeito estufa. Estudos apontam que novas tecnologias já disponíveis e incorporadas no setor podem reduzir 50% do total de emissões (IEA, 2009).

Conforme relatado no documento: Roteiro Tecnológico: Economia de Combustível de Veículos Rodoviários da Agência Internacional de Energia (IEA), as metas de redução de consumo de combustível por quilômetro foram definidas em 30% até 2030, no entanto, o roteiro propõe um cenário com redução de 50% para novos veículos rodoviários em todo o mundo até 2030, e de todos os veículos até 2050, a fim de reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa e o uso do petróleo (IEA, 2012).

Na figura 2, observa-se que em 2009, os veículos rodoviários (automóveis, caminhões, ônibus, veículos de duas rodas) foram responsáveis por quase três quartos de uso de combustível para transporte em todo o mundo, com a maioria do restante utilizado navios e aeronaves e outros.

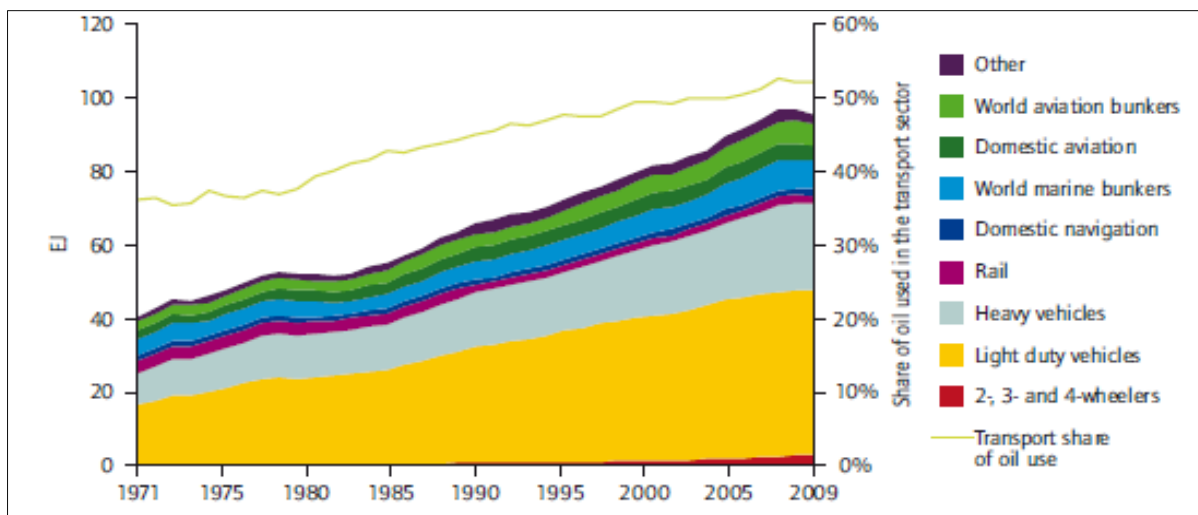


Figura 2 Uso de combustível no mundo Fonte: IEA, 2012

Uma melhor gestão no transporte modal também pode contribuir para a redução na emissão de GEEs, isto porque, estudos entre a economia do combustível medido em ensaios realizados, mostram um desvio de até 20% quando este veículo está em plena utilização no setor de transporte. Dentre estas estratégias é possível citar melhor fluxo no tráfego de veículos, melhores condições de estradas e conhecimento das características de funcionamento do veículo, que podem representar um significativo potencial para melhorar a economia de combustível (IEA, 2012).

Ações governamentais também possuem parcela significativa na redução dos GEEs, através de políticas fundamentais necessárias para melhorar a economia de combustível. Dentre estas, é possível citar diminuição de impostos sobre veículos baseados em redução de CO₂, incentivos a políticas em combustíveis renováveis, incentivos fiscais, linhas de créditos para novas tecnologias renováveis atreladas ao setor transporte que, priorizem a redução dos GEEs e redução de juros, ou seja, os objetivos políticos devem ser fundamentados em objetivos sociais, tais como eficiência e segurança energética com transportes e baixas emissões de CO₂ (IEA, 2012).

Dentre as tecnologias presentes para a redução do consumo combustíveis, relatados no roteiro apresentado pelo IEA, exposto na figura 3, os veículos elétricos-híbridos tem apresentado um importante avanço a ser considerado no setor de transporte coletivo, devido a sua eficiência na redução de emissões de GEEs (IEA, 2012).

A economia de combustível para o ônibus utilizado no setor de transporte público pode representar uma economia de 30% do consumo de combustível, principalmente quando utilizados em curta distância de condução e em condições urbanas com muito fluxo e, dentre as tecnologias de redução de emissões relacionadas, é considerado a mais significativa.

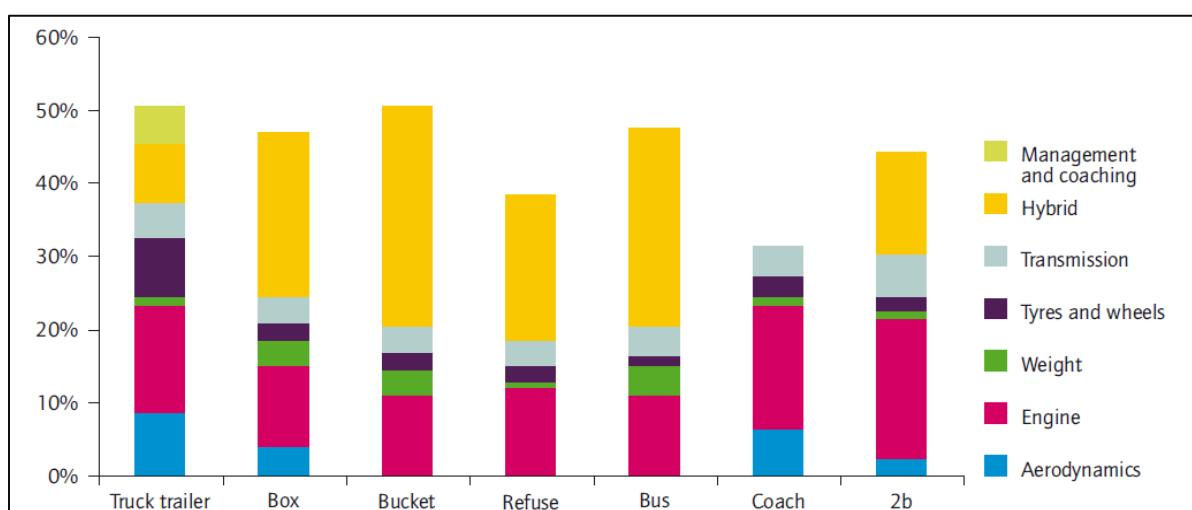


Figura 3 Tecnologias de Redução e Consumo de Combustíveis Fonte: IEA, 2012

2.5 COMPROMISSO BRASILEIRO E COMUNICAÇÃO NACIONAL

Junto ao Protocolo de Quioto, o Brasil compromete-se a elaborar, a partir de 2012, a Comunicação Nacional, onde passa a inventariar anualmente suas emissões. A primeira série temporal foi quantificada no Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa que compreendeu o período entre 1990 a 1994, publicado no ano de 2006 e, realizado pela Coordenação-geral de Mudanças Globais de Clima, do Ministério da Ciência e Tecnologia. A segunda comunicação nacional foi publicada em 2010, abrangendo o período entre 1990 e 2005 (BRASIL, 2013).

A terceira comunicação tem a previsão de publicação para o ano de 2014. No entanto, recentemente, o Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação apresentou o

relatório que traz estimativas das emissões de GEE no Brasil, instituída através da Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei no. 12.187/2009, que oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima através da meta voluntária de redução de emissões de GEEs das emissões projetadas até 2020 (BRASIL, 2013).

Após a instituição da Lei, em 2010, foi implementado o Decreto nº 7.390/2010 que regulamenta a Política Nacional sobre Mudança do Clima e define a linha de base de emissões de GEE para 2020 em 3,236 GtCO₂ equivalente, o que coloca esta meta de redução voluntária entre no máximo a emissão de 1,16 e 1,26 GtCO₂ equivalente correspondendo a 36,1% e 38,9%, respectivamente das emissões projetadas para 2020. Com intuito de acompanhamento às ações do Decreto, o presente documento prevê a publicação, a partir de 2012, de estimativas anuais de emissões de GEE no Brasil (BRASIL, 2013).

Através do decreto que apresentou as projeções de emissões de GEEs nos setores da economia brasileira e, ainda, pelo segundo Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa que, quantificou as emissões do país no período compreendido entre os anos de 1990 a 2005, pode-se visualizar o cenário de emissões que serviu como base para o estudo publicado pelo MCTI que relata as estimativas de emissões antrópicas de GEE compreendido entre os anos de 2006 e 2010 (BRASIL, 2013).

Neste cenário base, conforme pode-se observar na figura 4, no ano de 2005 o setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas foi responsável por 57% do total de emissões, ao passo que nas projeções prevê-se uma redução de 7% do total das emissões para os próximos 15 anos, representando 43% das emissões em 2020.

O setor de energia, no ano de 2005 representou um total de 16% das emissões de CO₂ equivalente, projetando um aumento de 11% neste setor o que representará em 2020 o total de 27%.

No setor de agropecuária em 2005 as emissões representaram 20%, projetando um aumento de 3% para 2020, o que totalizará 23 % das emissões de CO₂ em 2020.

Por fim, o setor da indústria e resíduos onde em 2005 totalizaram 6% das emissões, projetando um pequeno aumento de 1% no período entre 2005 e 2020.

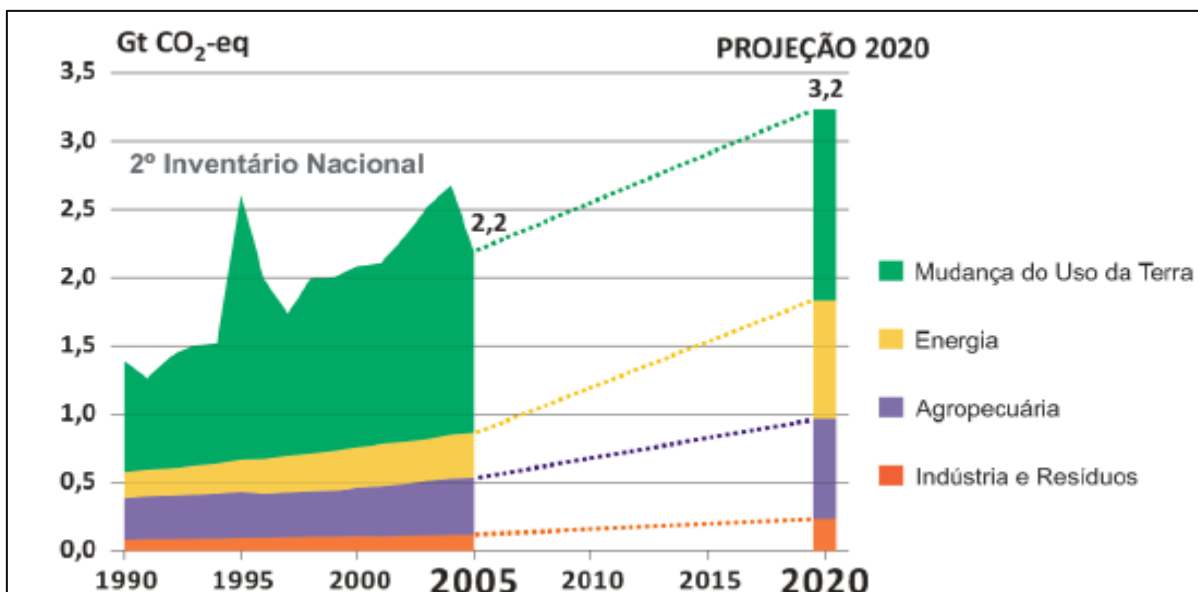


Figura 4 Emissões totais de GEEs entre 1990 e 2005 e suas projeções em 2020, Fonte:BRASIL, 2013.

O Inventário brasileiro segue as orientações do IPCC, que possui diretrizes acordadas internacionalmente, a fim de que os países elaborem seus inventários, sendo estes, organizados de acordo com os setores da economia onde são estabelecidas as atividades que compõem cada setor. Os gases de efeito estufa são comparados usando-se o índice GWP relativos a cada um deles que são convertidos a uma unidade comum a eles que compreende o CO₂ equivalente (BRASIL, 2013).

Quanto ao cálculo das emissões de combustíveis fósseis, existem dois modos de abordagem para contabilização das emissões, a saber:

Método “*top-down*”: este método considera a emissão de dióxido de carbono oriunda da produção e consumo de energia primária (fontes primárias fósseis como o petróleo, o gás natural e carvão; além das fontes primárias renováveis: como lenha, os produtos de cana de açúcar e energia hidráulica);

Método “*bottom-up*”: este método quantifica as emissões de todos os gases, sendo neste caso, considerado o tipo de equipamento e seu rendimento. Os setores da economia compreendem: energia, agropecuária, uso da terra e florestas, processos industriais e, tratamento e resíduos (IPCC, 1996).

O setor de Energia compreende as emissões devido à queima de combustíveis e emissões fugitivas da indústria de petróleo, gás e carvão mineral. É importante destacar que na última publicação do MCTI as emissões de CO₂ oriundas

do processo de redução nas usinas siderúrgicas foram consideradas no setor de Processos Industriais (BRASIL, 2013).

Quanto ao setor da Agropecuária, referem-se às emissões oriundas majoritariamente devido ao metano (CH_4) e ao óxido nitroso (N_2O), fermentação entérica, manejo de dejetos animais, cultivo de arroz, queima de resíduos agrícolas e emissões de N_2O provenientes de solos agrícolas (BRASIL, 2013).

No setor de mudança de uso da terra e florestas as emissões de variações de carbono podem ocorrer tanto na biomassa aérea como no solo. Neste são consideradas todas as transições possíveis entre diversos usos, às remoções de CO_2 em toda área considerada manejada e emissões de CO_2 por aplicação de calcário em solos agrícolas (BRASIL, 2013).

Para o setor de Processos Industriais, foram avaliadas no documento as emissões resultantes dos processos produtivos nas indústrias e que não são resultado da queima de combustíveis e dos Subsetores: produtos minerais, química, metalurgia, papel e celulose, alimentos e bebidas, e produção e utilização de HFC e SF_6 (BRASIL, 2013).

Por fim, na quantificação no Tratamento de Resíduos, foram avaliadas as emissões pela disposição de resíduos sólidos (CH_4) e tratamento de esgotos (CH_4 e N_2O): esgoto doméstico e comercial, efluentes da indústria de alimentos e bebidas e os da indústria de papel e celulose. Além das emissões de CO_2 pela incineração de resíduos (BRASIL, 2013).

Como resultados da Comunicação Nacional, o perfil da emissão brasileira por setor aponta uma redução significativa de 2,03 bilhões de Co_2 equivalente em 2005 para 1,25 bilhões de toneladas de CO_2 equivalente em 2010, o que representa um percentual de redução de 38,7% das emissões totais no Brasil em 2010 quando comparado a última comunicação brasileira que fora o 2º Inventário Nacional das Emissões Atmosféricas. Esta redução, em parte é justificada pela mudança de metodologia adotada no inventário (BRASIL, 2013).

Pela figura 5 é possível observar a variação das emissões por setor da economia com destaque para a redução de 35% das emissões no setor de mudança de uso da terra e florestas; um aumento de 16% no setor de energia; 15% de aumento no setor de Agropecuária; 3% de aumento para o setor de Processos

Industriais e, 2% de aumento para o setor de Tratamento de Resíduos, isto com relação a ano base 2005 até 2010.

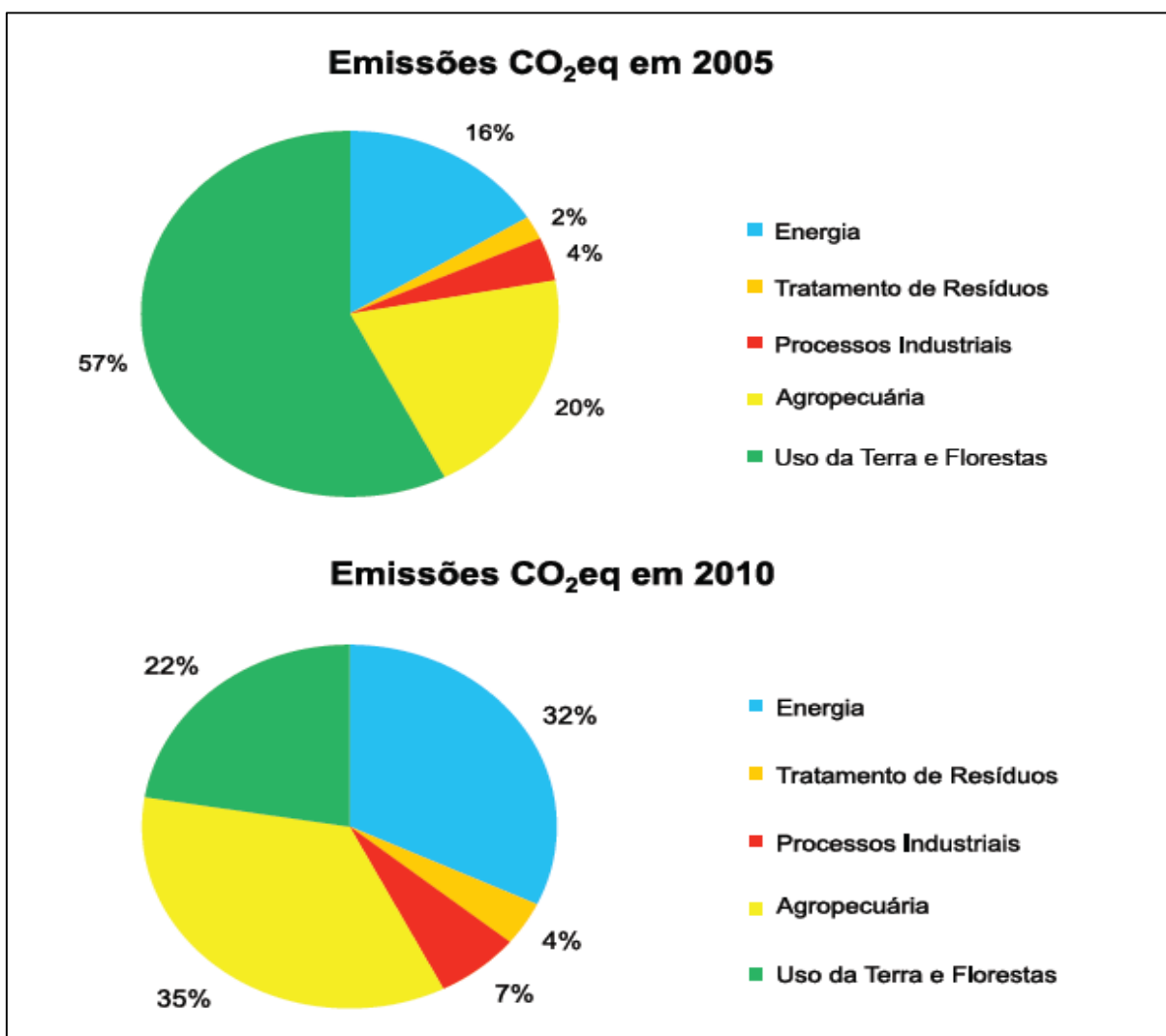


Figura 5 Comparativo das emissões entre os anos de 2005 e 2010 no Brasil, por setor.

2.5.1 Emissões Oriundas do Setor Transporte no Brasil

Recentemente no País, fora publicado o Primeiro Inventário Nacional das Emissões Atmosféricas por Veículos automotores rodoviários, documento este que quantifica as emissões do setor de transporte no Brasil e, que têm como principal objetivo a visualização das emissões de GEEs por setor, afim de que o poder público e a sociedade busquem alternativas no planejamento, de políticas voltadas à melhoria da qualidade ambiental e, também, à mitigação das mudanças climáticas.

Este documento vem ao encontro das metas propostas no marco normativo da gestão da qualidade do ar no país, através do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), instituído pela Resolução CONAMA nº 5 de 1993 que pressupõe, entre outros, a implantação do Programa Nacional de Inventários de Fontes Poluidoras do Ar (CONAMA, 1993).

As emissões de CO₂ que foram apresentadas no relatório, foram aquelas consideradas da decorrência no escapamento dos veículos, sendo assim, avaliada a emissão de CO₂ do produto da queima dos combustíveis durante a utilização dos veículos e, não sendo contabilizados portanto, as emissões (ou remoções) ao longo de todo o ciclo de vida dos combustíveis.

Quando a análise do estudo recai para emissão de CO₂ por categoria de veículo, a utilização de ônibus urbano, representa uma emissão de 14% do total das emissões no referido ano. As projeções do estudo apontaram uma redução de apenas 4% para 2020.

Sendo assim, do total dessas emissões em 2020, 36% serão advinda da frota de caminhões, 13% de ônibus, 40% de automóveis (incluindo os veículos movidos a GNV), e 3% de motocicletas, conforme resultados apresentados no referido estudo.

Com relação a utilização dos combustíveis, os resultados da emissão de CO₂ mostram que do total de emissões do setor de transporte rodoviário em 2009, 53% ocorreu da queima de óleo diesel de origem fóssil, 2% do biodiesel, 26% da gasolina, 17% do etanol e 2% do GNV. As projeções do estudo indicam que para 2020, as emissões de CO₂ originadas da queima de diesel fóssil representaram ainda, 49% do total das emissões, 21% da utilização da gasolina, 3% do GNV, 24% do etanol e 3% do biodiesel.

2.6 TRANSPORTE COLETIVO E EMISSÕES NA CIDADE DE CURITIBA

No setor de transporte coletivo a cidade de Curitiba apresenta importantes e inovadoras políticas de gestão e melhorias no transporte público da cidade. Segundo dados do Seminário Nacional Copa 2014: Oportunidades para a Sustentabilidade Urbana, o setor de transporte público na cidade de Curitiba é responsável por 45% do deslocamento da população curitibana, tendo como principal destino o local de trabalho destes usuários.

Além disto, faz-se importante destacar a implantação do Sistema Integrado de Monitoramento (SIM) que tem se apresentado como uma inovação sustentável na área de mobilidade urbana. Este sistema objetiva gerenciar e controlar a eficiência do sistema de transporte e a fluidez do trânsito, garantindo e possibilitando de forma imediata uma possível intervenção e correção, através do monitoramento em tempo real.

Com este sistema acredita-se melhorar diretamente com maior eficiência o controle da mobilidade urbana e, indiretamente, ganhos na qualidade de vida e meio ambiente, através da redução de deslocamentos desnecessários, vandalismos, redução no tempo de viagens, consumo de combustíveis, número de acidentes, melhoria de informação e comunicação ao cidadão, que proporcionarão diretamente reduções das emissões de GEE.

No ano de 2012, foi apresentado na Conferência Rio+20, e já integrado no setor de transporte público da cidade o ônibus híbrido, uma forma de utilização de energia limpa integrada ao transporte coletivo. O "Hibribus", como ele é chamado, é movido a eletricidade e biodiesel, este tipo de transporte opera com dois motores funcionando em paralelo.

Ainda, novos ônibus foram incorporados à frota, os motores EURO III. Estes ônibus possuem motores eletrônicos, são menos poluentes, atendem à atual Legislação Federal do meio ambiente com redução às emissões de fumaça e ruído. Estes veículos além da tecnologia de controle de poluição, contam com um sistema de comunicação com display eletrônico interno, onde constam o itinerário e as informações de utilidade pública e, ainda GPS, possibilitando seu monitoramento por satélite, permitindo assim, ao usuário do transporte, por meio dos painéis 376 painéis que estão sendo instalados nos terminais e estações tubo, informações a cerca do itinerário do ônibus (URBS, 2012).

Conforme dados da empresa, os índices de poluição do transporte coletivo com a utilização dos novos ônibus apresentaram as seguintes reduções de poluentes, a saber: Material Particulado: 14,51 toneladas/ano; Óxidos de Nitrogênio: 241,78 toneladas/ano; Hidrocarbonetos Totais: 53,19 toneladas/ano; CO - Monóxido de Carbono: 229,69 toneladas/ano (AIC/URBS – 2012).

2.7 POLÍTICAS PÚBLICAS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO NO TRANSPORTE

No Brasil, o governo tem centrado esforços para a melhoria da qualidade do ar nos centros urbanos através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) que criou em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Instituído pela Resolução nº 18/86. O Proconve objetiva reduzir as emissões de poluentes de veículos novos, através da implantação progressiva de fases que, gradativamente, obrigam a indústria automobilística a reduzir as emissões nos veículos novos (CNT : Sest/Senat, 2012).

Em relação ao transporte coletivo, no Brasil desde janeiro de 2012 está em vigor a fase P7, nesta fase, as emissões dos veículos pesados brasileiros são reduzidos significativamente conforme pode-se observar na figura 6. Observa-se ainda, a evolução dos limites de emissão ao longo das fases do PROCONVE para veículos pesados onde demonstram-se expressivas as reduções nos limites de emissões de poluentes tolerados para veículos novos, principalmente quando comparados com a nova fase P7.

LIMITES DAS EMISSÕES PARA VEÍCULOS PESADOS A DIESEL								
PROCONVE	EURO	CO (g/kW.h)	HC (g/kW.h)	NOx (g/kW.h)	MP (g/kW.h)	Norma (Conama)	Vigência	Teor de enxofre (S)
Fase P1	-	14,00 ¹	3,50 ¹	18,00 ¹	-	Res. 18/85	1989 a 1993	-
Fase P2	Euro 0	11,20	2,45	14,40	0,60 ¹	Res. 08/93	1994 a 1995	3.000 a 10.000 ppm
Fase P3	Euro 1	4,90	1,23	9,00	0,40 ou 0,70 ²	Res. 08/93	1996 a 1999	3.000 a 10.000 ppm
Fase P4	Euro 2	4,00	1,10	7,00	0,15	Res. 08/93	2000 a 2005	3.000 a 10.000 ppm
Fase P5	Euro 3	2,10	0,66	5,00	0,10 ou 0,13 ³	Res. 315/02	2006 a 2008	500 a 2.000 ppm
Fase P6 ⁴	Euro 4	1,50	0,46	3,50	0,02	Res. 315/02	2009 a 2012	50 ppm
Fase P7	Euro 5	1,50	0,46	2,00	0,02	Res. 403/08	a partir de 2012	10 ppm

CO	monóxido de carbono	HC	hidrocarbonetos	NOx	óxidos de nitrogênio	MP	material particulado	S	enxofre
----	---------------------	----	-----------------	-----	----------------------	----	----------------------	---	---------

Figura 6 Limites de emissões ao longo das fases do PROCONVE para veículos pesados. FONTE (CNT : Sest/Senat, 2012).

Em relação ao cumprimento das metas do PROCONVE, os objetivos até a fase P5, foram alcançados através da inserção de tecnologias de melhoramento dos motores que compreendem desde melhorias eletrônicas na injeção do combustível sob alta pressão á turbo compressores e *intercoolers*, que eficientizaram a queima proporcionando assim atingir os níveis de emissão definidos (CNT : Sest/Senat, 2012).

Já na fase P7, fora necessário acrescentar sistemas de pós-tratamento dos gases de escapamento. Com isso, antes de serem lançados à atmosfera, os gases poluentes oriundos da combustão do motor são tratados e convertidos em gases menos danosos ao meio ambiente e à saúde humana. Para que ocorra o tratamento dos gases é necessária uma redução dos níveis de enxofre no diesel. Sendo assim, é necessário combustíveis com teores de enxofre iguais ou menores que 50 ppm de enxofre (CNT : Sest/Senat, 2012).

Conforme já citado neste trabalho, encontra-se em vigor desde primeiro de Janeiro de 2013 a RESOLUÇÃO ANP Nº 65, DE 9.12.2011, publicada no DOU em 12.12.2011 que definiu a obrigatoriedade das capitais dos estados de Belo Horizonte, Paraná, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo de comercializarem exclusivamente em suas frotas cativas de ônibus urbano o óleo diesel B S10.

O uso do diesel S-10 provoca menos emissões de poluentes, como material particulado e óxidos nitrosos, além de melhorar a partida a frio do veículo, diminuir a formação de depósitos na câmara de combustão, reduzir a contaminação do lubrificante, além de contribuir com a melhor eficiência nos novos motores exigidos pela fase P7 (CNT: Sest/Senat, 2012).

Como instrumentos vigentes no Brasil para o controle de emissões de poluentes atmosféricos destacam-se as seguintes normativas, a saber:

Resolução CONAMA nº 18, de 06 de maio de 1986 - Institui em caráter nacional o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE.

Resolução CONAMA nº 08, de 31 de dezembro de 1993 - Estabelece Limites Máximos de Opacidade e de Ruídos para veículos movidos a diesel.

Resolução CONAMA nº 16, de 13 de dezembro de 1995 - Estabelece Limites Máximos de Opacidade para veículos novos a partir de janeiro de 1996 e estabelece a NBR 13037, como procedimento de ensaio para homologação e certificação de novos modelos.

Resolução CONAMA nº 251, de 07 de janeiro de 1999 - Estabelece Limites Máximos de Opacidade a serem exigidos nos programas de Inspeção e Manutenção para os veículos não abrangidos pela Resolução CONAMA 16/93, e define o Opacímetro de Fluxo Parcial, devidamente certificado pelo Instituto Nacional de

Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, como instrumento de medição.

Portaria nº 85, de 17 de outubro de 1996, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA estabelece como exigência, a adoção de Programa Interno de Autofiscalização da Correta Manutenção da Frota, quanto a Emissão de Fumaça Preta, nas Empresas Transportadoras que possuem veículos movidos a diesel.

Pela legislação vigente, admite-se os seguintes níveis máximos de opacidades atribuídos aos veículos do ciclo diesel, conforme Resolução CONAMA nº 251/99, adotados no quadro a seguir:

Quadro 2 Limites máximo de opacidade dos veículos fabricado anterior a 1996

Altitude/Tipo de Motor	Naturalmente Aspirado ou Turboalimentado com LDA (Limitador de Fumaça)	Turboalimentado
Até 350 m	1,7 m ⁻¹	2,1 m ⁻¹
Acima de 350m	2,5 m ⁻¹	2,8 m ⁻¹

Fonte: CONAMA, 1999.

A Quadro 3 apresenta os valores de emissão admitidos para os veículos automotores de ciclo diesel, nacional ou importados, posteriores a 1996. Para os veículos fabricados a partir de 01 de janeiro de 1996, a legislação prevê os limites máximos de opacidade estabelecidos pelo fabricante ou encarregador final do veículo, conforme Resolução CONAMA nº 16/95 e afixados, em etiqueta, na coluna B da porta dianteira direita e de acordo com o manual de proprietário e de serviço do veículo. Para ônibus urbano, os limites máximos de opacidade demonstrados na tabela abaixo, deverão ser fixados por meio de etiqueta afixada no espelho do degrau da porta direita dianteira (CONAMA, 1995)

Quadro 3 Limites de opacidade em aceleração livre de veículos a diesel posterior a 1996

Ano-Modelo	Altitude	Opacidade m ⁻¹
1996-1999	Até 350m	2,1
	Acima de 350m	2,8
2000 e Posteriores	Até 350m	1,7
	Acima de 350m	2,3

Fonte: CONAMA, 1990

O limite máximo de concentração de um poluente atmosférico no Brasil é definido pela resolução nº003 de 26/08/90 do Conselho Nacional do Meio Ambiente que define os padrões de qualidade do ar no país. Segundo a resolução, os principais poluentes atmosféricos compreendem: dióxido de enxofre (SO_2), partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2), (CONAMA, 1990).

Em seu artigo segundo, nos incisos I e II, ficam definidos dois tipos de padrões da qualidade do ar, a saber: os primários e secundários. Os primários correspondem às concentrações dos poluentes que, ultrapassadas, podem afetar a saúde das populações. Os secundários, as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral, (CONAMA, 1990)

O Conselho Nacional do Meio Ambiente apresenta as seguintes definições para fumaça preta, opacidade e opacímetro, a saber:

FUMAÇA PRETA - Partículas compostas, em sua grande parte, de carbono e com tamanho normalmente menor que $1\ \mu\text{m}$, resultante do processo de combustão do motor.

OPACIDADE – Absorção da luz de um feixe luminoso ao atravessar uma coluna de gás de escapamento, expressa em porcentagem, entre os fluxos de luz emergente e incidente.

OPACÍMETRO - Equipamento utilizado no escapamento do veículo ou no banco de provas, para a medição da fumaça, através do processo de absorção de luz.

Pela medição do nível de opacidade da fumaça emitida pelo escapamento dos veículos a diesel é possível fazer-se o controle das emissões dos ônibus do transporte coletivo, nos grandes centros urbanos por meio de ensaios de medição de opacidade que seguem as diretrizes da Norma Brasileira NBR 13037 - Gás de Escapamento Emitido por Motor Diesel em Aceleração Livre - Determinação da Opacidade (CONAMA, 1990).

Por meio do controle, e, conforme o grau de opacidade medido é possível obter-se um diagnóstico, indicando se o veículo encontra-se bem regulado ou

necessita de alguma manutenção para redução do consumo e da emissão, (MME, 2004).

2.7.1 O GHG *Protocol*

Foi em uma ação conjunta entre o *World Resources Institute* (WRI), e o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) que é o Conselho Empresarial Mundial de Desenvolvimento Sustentável, que fora desenvolvido o GHG Protocol Initiative um programa voluntário de contabilização e comunicação das emissões de GEE, por meio de cálculo de emissões, para diversas atividades, setores industriais, onde fornecem por meio de uma ferramenta de quantificação, as normas e diretrizes para que as empresas possam preparar um inventário de GEE (GHG *PROTOCOL*, 2009).

No Brasil, a consolidação para a criação de uma ferramenta que quantificasse as emissões de GEEs deu-se por meio de uma ação conjunta entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA), e o Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getulio Vargas (FGV), o WRI, o WBCSD e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), que em 12 de maio de 2008, criou o Programa Brasileiro GHG *Protocol*, uma iniciativa brasileira para atender as mais diversas esferas da sociedade a fim de que possam ser contabilizadas as emissões de GEEs.

Com esta ferramenta os mais diversos setores da economia e corporações privadas ou públicas podem voluntariamente se comprometer a medir e comunicar suas emissões, tais como as seguintes empresas: Alcoa (Alumínio), Anglo American (Mineração), Arcelor Mittal (Siderurgia), Banco do Brasil e Bradesco (Financeiro), CNEC (Engenharia), COPEL (Elétrico), Ford (Automotivo), Grupo Abril (Mídia), Natura e Boticário (Cosméticos), Nova Petroquímica (Química), Petrobras (Petróleo), Sadia (Alimentício), Votorantim (Produtivo) e WalMart Brasil (Varejo), dentre outras (GHG *PROTOCOL*, 2009).

Com a ferramenta de contabilização do GHG Protocol as empresas poderão visar à propagação de metodologias para a quantificação e, elaboração de relatórios de GEEs e, ainda, a gestão voluntária dessas emissões. Isto permitirá o

desenvolvimento da capacidade técnica e institucional de seus participantes além de contribuir com uma plataforma brasileira para publicação dos inventários de GEE corporativos e organizacionais (GHG *PROTOCOL*, 2009).

O programa brasileiro a fim de assegurar por meio de um inventário a credibilidade das informações expressos na quantificação dos GEEs prioriza os seguintes princípios que norteiam a aplicação das ferramentas *GHG Protocol* conforme quadro 4, a saber:

Quadro 4 Princípios GHG Protocol

Relevância	Visa assegurar que o relatório de GEE reflita com exatidão as emissões da empresa por meio de limites incorporados a fatores como: estrutura organizacional, limite operacional e contexto organizacional. Afim de que sirva às necessidades e decisão dos utilizadores, tanto a nível interno quanto externo.
Integralidade	Prioriza registrar e comunicar todas as fontes e atividades de emissão de GEEs, dentro dos limites do inventário selecionado. Divulgar e justificar quaisquer exclusões específicas.
Consistência	Utilizar metodologias consistentes, que permitam comparações relevantes de emissões ao longo do tempo. Documentar possíveis alterações de dados, limites de inventário, métodos ou quaisquer outros fatores relevantes a fim de manter a consistência dos dados a uma série temporal.
Exatidão	Assegurar que a quantificação de emissões de GEE não esteja sistematicamente acima ou abaixo do nível de emissões atuais, redução das incertezas, buscar exatidão afim de possibilitar uma tomada de decisão mais segura à integridade da informação comunicada.
Transparência	Tratar todos os assuntos relevantes de forma coerente e factual, com base numa auditoria transparente. Revelar possíveis suposições relevantes, bem como fazer referência apropriada às metodologias de cálculo e de registro e ainda às fontes de dados utilizadas.

Fonte: GHG *PROTOCOL* 2009.

Para a concepção do inventário, faz-se importante relacionar as variáveis do estudo necessárias para quantificar de forma segura os relatórios, tais como: identificação das fontes de emissão de GEEs; escolha da metodologia apropriada para o cálculo; coleta dos dados de atividade e seleção dos fatores de emissão; aplicação das metodologias de cálculo e, por fim o registro dos dados ao nível do grupo empresarial. Neste contexto, conforme consta no manual do *GHG Protocol*, irá se sintetizar estas etapas para contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GHG *PROTOCOL*, 2009).

2.8 TECNOLOGIA HÍBRIDA E ENERGIAS RENOVÁVEIS NO TRANSPORTE PÚBLICO

As energias renováveis podem desempenhar um papel importante nas reduções de emissões de GEEs no setor de transporte público no Brasil. Seja esta por meio do uso de combustíveis não oriundos de fontes fósseis como por exemplo o etanol, o biodiesel, o hidrogênio como, também os veículos elétricos e/ou híbridos.

Dentre estas tecnologias pode-se destacar o veículo híbrido que é disposto tecnologicamente de duas fontes de energia para movimentá-lo. Podendo usar um motor elétrico como uma fonte alternativa de energia combinado em série ou paralelo com um motor de combustão interna, gerando assim aumento de potência, melhoria na economia do combustível e, diminuindo a poluição atmosférica (QUEIROZ, 2006).

Um veículo elétrico híbrido é assim denominado, pois possui duas fontes de energia distintas. Ele possui um motor de combustão, um motor elétrico e um banco de baterias que reduzem a quantidade de combustível que é utilizado. O motor elétrico reduz o esforço do motor de combustão e assim reduz o consumo do combustível (QUEIROZ, 2006).

É através do sistema de frenagem regenerativa, que ocorre a conversão de energia cinética em energia elétrica. Os motores elétricos funcionam como geradores de energia elétrica para o carregamento da bateria (EHSANI *et al.*, 2004).

A tecnologia híbrida traz algumas vantagens para seu usuário. Um desses benefícios é a economia de combustível que está entre 20% e 40%, quando comparada à tecnologia de um motor de combustão além do motor elétrico ter

eficiência na ordem de 90%, contra 40% do motor de combustão (BARAN E LEGEY, 2010).

2.8.1 Tipos de Veículos Híbridos

A configuração dos veículos híbridos pode se dar por série, paralela ou mista. Na configuração série, o combustível é queimado pelo motor de combustão e então ligado ao gerador que recarrega as baterias. O motor elétrico recebe a energia das baterias e coloca o veículo em movimento. Neste caso apenas o motor elétrico é responsável pela locomoção do veículo. Como não há nenhum tipo de ligação mecânica do motor de combustão com as rodas ele é aproveitado com a sua melhor eficiência. O motor elétrico permite recarregar a bateria através do processo de travagem regenerativa (EHSANI *et al.*, 2004).

Na configuração do tipo paralela, o motor de combustão e o motor elétrico trabalham em conjunto, e ambos estão conectados as rodas. No carro híbrido paralelo também é possível fazer com que o motor elétrico passe a operar como gerador. Deste modo o sistema de baterias poderá ser carregado a partir do motor de combustão e também pela energia cinética proveniente da frenagem. Os principais componentes do sistema híbrido são apresentados na figura 7, a saber: 1 Motor diesel; 2 Motor/alternador elétrico; 3 Transmissão; 4 Unidade de gestão do trem de força (PMU); 5 Conversor de energia CC/CA 600V / 24V; 6. Baterias; 7 Auxiliares elétricos, (VOLVO,2013).

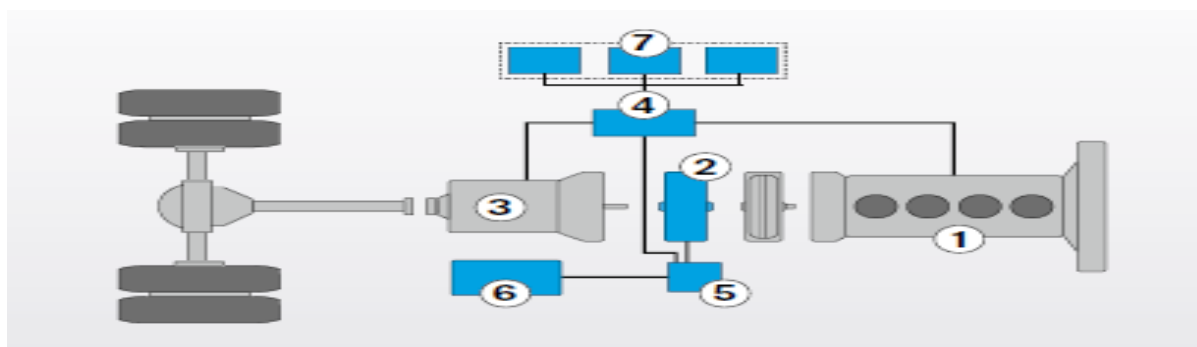


Figura 7 – Esquema Funcionamento de um VEH tipo paralelo Fonte: VOLVO,2013

Na configuração mista, ocorre uma integração entre o sistema híbrido em série e o sistema híbrido paralelo e tem como objetivo aumentar a eficiência e maximizar os benefícios dos dois sistemas. O funcionamento é variável, pois se pode alternar entre o motor de combustão e o motor elétrico, por exemplo: o motor

de combustão interna faz o veículo se locomover, e o motor elétrico absorve a energia cinética do veículo, ou o motor de combustão e o motor elétrico trabalham em conjunto para produzir uma maior potência (EHSANI *et al.*, 2004).

3 METODOLOGIA

O percurso metodológico deste trabalho foi desenvolvido em cinco etapas que foram sintetizadas na figura 8, para uma maior compreensão deste estudo:

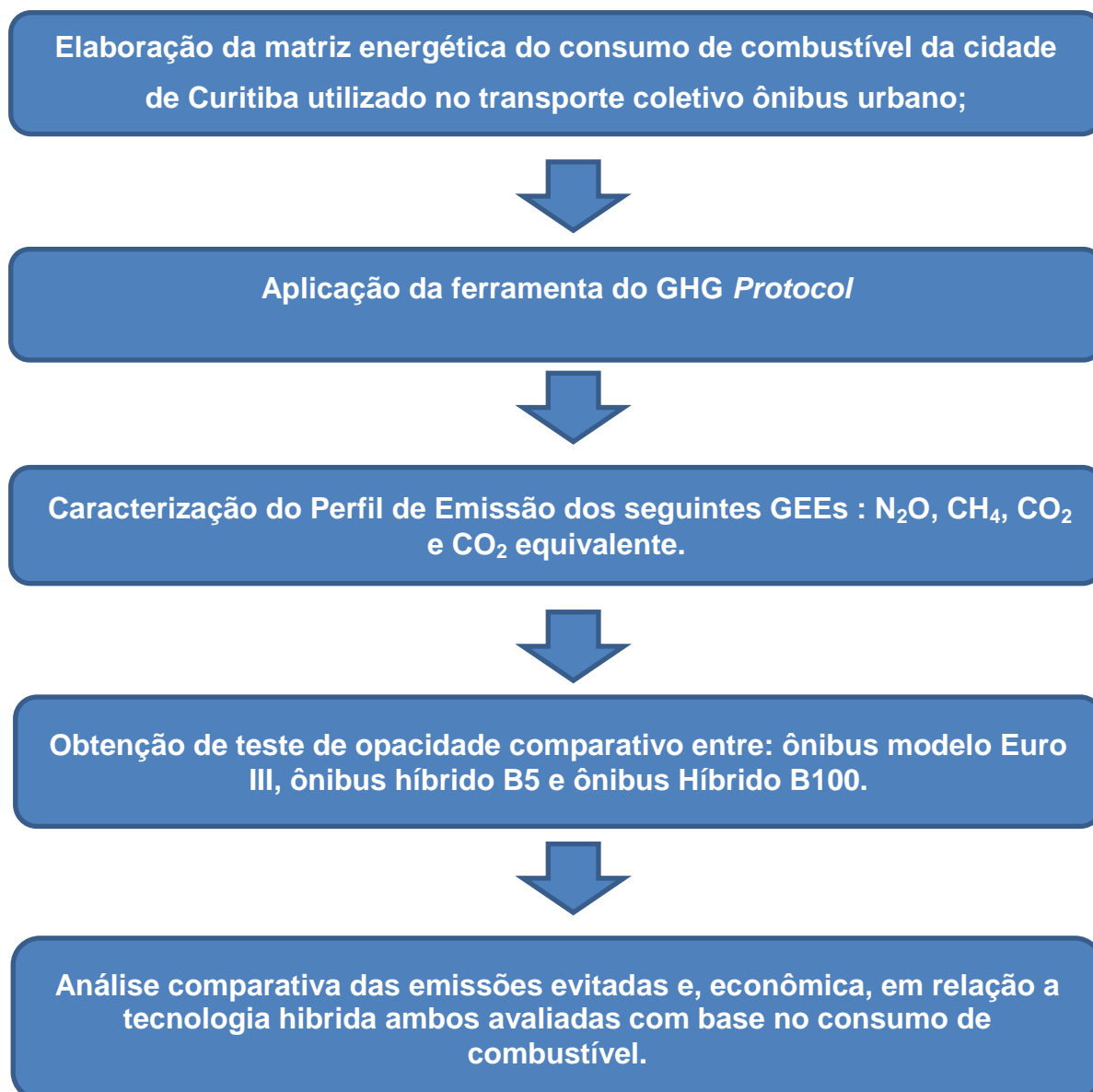


Figura 8 Fluxograma da metodologia adotada no trabalho. Fonte: Autor

3.1 ELABORAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS

Para confecção da matriz energética do consumo de combustíveis utilizados no transporte público ônibus urbano, foram utilizadas informações obtidas diretamente da Empresa de Urbanização de Curitiba S/A URRBS, os quais foram dispostos em um gráfico e separados por Combustíveis Renováveis e Combustíveis Fósseis.

3.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO GHG *PROTOCOL*

Para quantificar as emissões advindas do consumo de combustível, utilizou-se a calculadora que encontra-se disponível em <http://www.fgv.br/ces/ghg> caracterizada como intersetorial, ou seja, que pode ser aplicada a diferentes setores, fazendo mão do banco de fatores de emissão da mesma através do relato de dados que serão compilados pela combustão móvel, onde quantificou-se as emissões diretas resultantes da queima de combustíveis em fontes móveis por meio de cálculos em uma planilha de excel com seus fatores de emissão para transporte rodoviário, que considera os percentuais de biocombustíveis nos combustíveis nacionais.

Para efeito deste trabalho, foram avaliadas as emissões única e exclusivamente de fontes móveis terrestres que operam dentro dos limites geográficos do município de Curitiba. Estas emissões são advindas da combustão de gases de veículos da frota ônibus urbano público da cidade.

Desta forma, foram contabilizadas as emissões de GEEs presentes no ESCOPO 1, excluindo da análise os demais, por não representar um inventário de emissões corporativo e, sim fazer uso da ferramenta, com os seus respectivos fatores de emissão identificados no ESCOPO1.

As emissões de biomassa que são as resultantes da combustão dos biocombustíveis foram tratadas de forma diferente daquelas provenientes de combustíveis fósseis, conforme orientação do manual do GHG *PROTOCOL*. Uma vez que o CO₂ liberado na combustão da biomassa é igual ao CO₂ retirado da atmosfera durante o processo de fotossíntese e, dessa forma, é possível considerá-la “carbono neutro” conforme orientações do manual.

A análise de emissão teve sua consistência nos dados quantificando emissões compreendidas no período de 12 meses, ou seja, 1 ano, de setembro de 2012 a agosto de 2013, considerando os seguintes gases de efeito estufa: CO₂, CH₄ e N₂O, que expressam relevância nas emissões de GEEs no setor de transporte, oriundos da queima de combustível em ônibus que foram convertidos em tonelada de CO₂ equivalente, conforme GWP de cada gás.

Na delimitação das unidades operacionais (fronteiras do sistema) considerou-se todo o perímetro do município de Curitiba que está sobre o bioma da Mata Atlântica, em uma área de 435,036 Km² com uma população de 1.751.907 habitantes (IBGE, 2012), figura 9

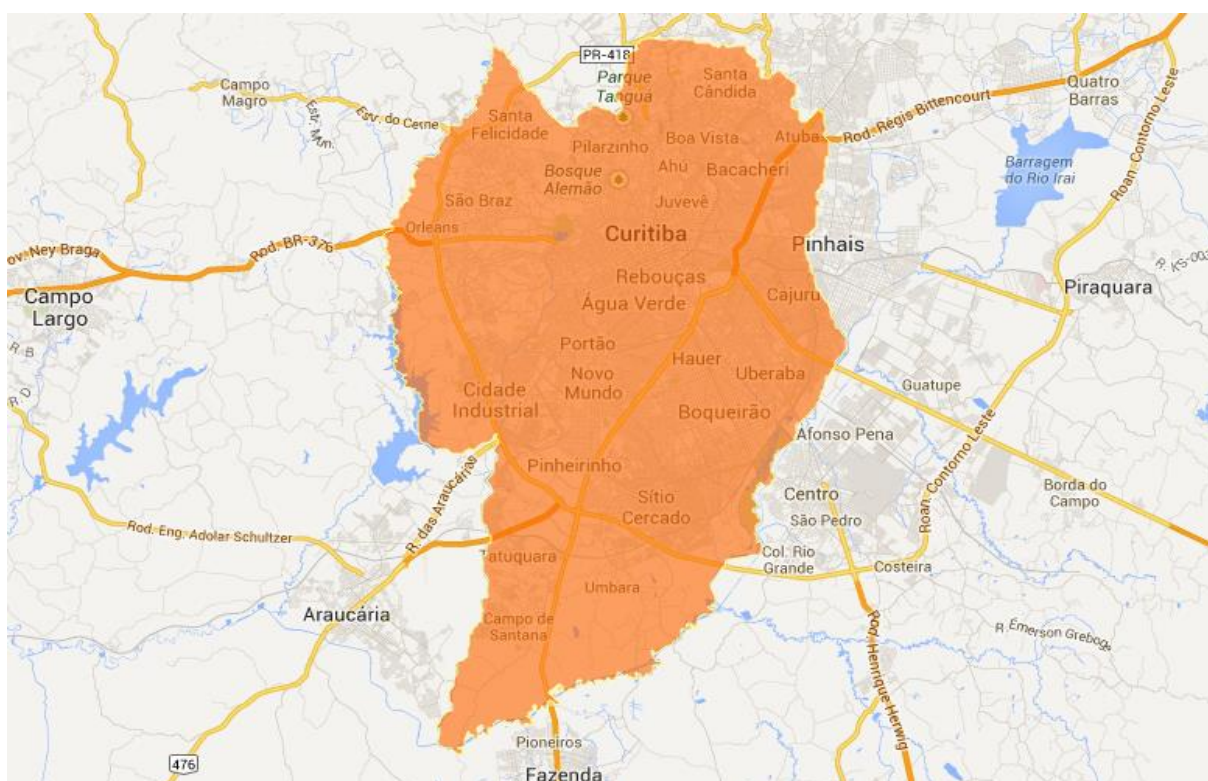


Figura 9 Vista do Município de Curitiba Fonte: IBGE, 2012

A frota da cidade apresentou um total de 1930 ônibus dos quais 34 utilizam biodiesel puro B100 e 30 são ônibus híbridos, sendo que destes, dois operam a B100 e o restante, 1866 ônibus são movidos a diesel metropolitano, com mistura de 5% de biodiesel conforme legislação vigente. Para quantificar as emissões, a frota foi dividida em: Frota Fóssil, Frota Renovável e Frota Renovável Híbrida B5 e Híbrida B100.

Aplicação metodológica para a obtenção da quantificação dos GEEs: CO₂, N₂O e CH₄ foi contabilizada somente na frota que consumiu o combustível diesel, visto que para a quantificação da frota que consumiu biodiesel, a calculadora não considera as emissões de N₂O nem de CH₄ nos combustíveis renováveis, sendo contabilizadas neste caso, as emissões somente de CO₂ equivalente, utilizando os fatores de emissão disponíveis no banco da mesma que seguem as normas e diretrizes estabelecidas pelo IPCC, apresentados na tabela 1.

Tabela 1 Fatores de Emissão

Combustível	Unidade	Fator de Emissão CO ₂ (kgGEE/un.)	Fator de Emissão CH ₄ (kgGEE/un.)	Fator de Emissão N ₂ O (kgGEE/un.)
Óleo Diesel	Litros	2,6710	0,0001	0,00014
Biodiesel	Litros	2,4991	x	x

Fonte: *GHG PROTOCOL*

Desta forma, o cálculo se deu por meio da multiplicação de cada litro consumido de combustível pelo fator de emissão.

Para maior compreensão dos passos utilizados no manuseio da ferramenta, criou-se um fluxograma com as etapas solicitadas na calculadora, que foram preenchidos conforme relato citado na obtenção dos resultados de cada uma das frotas, figura 8.

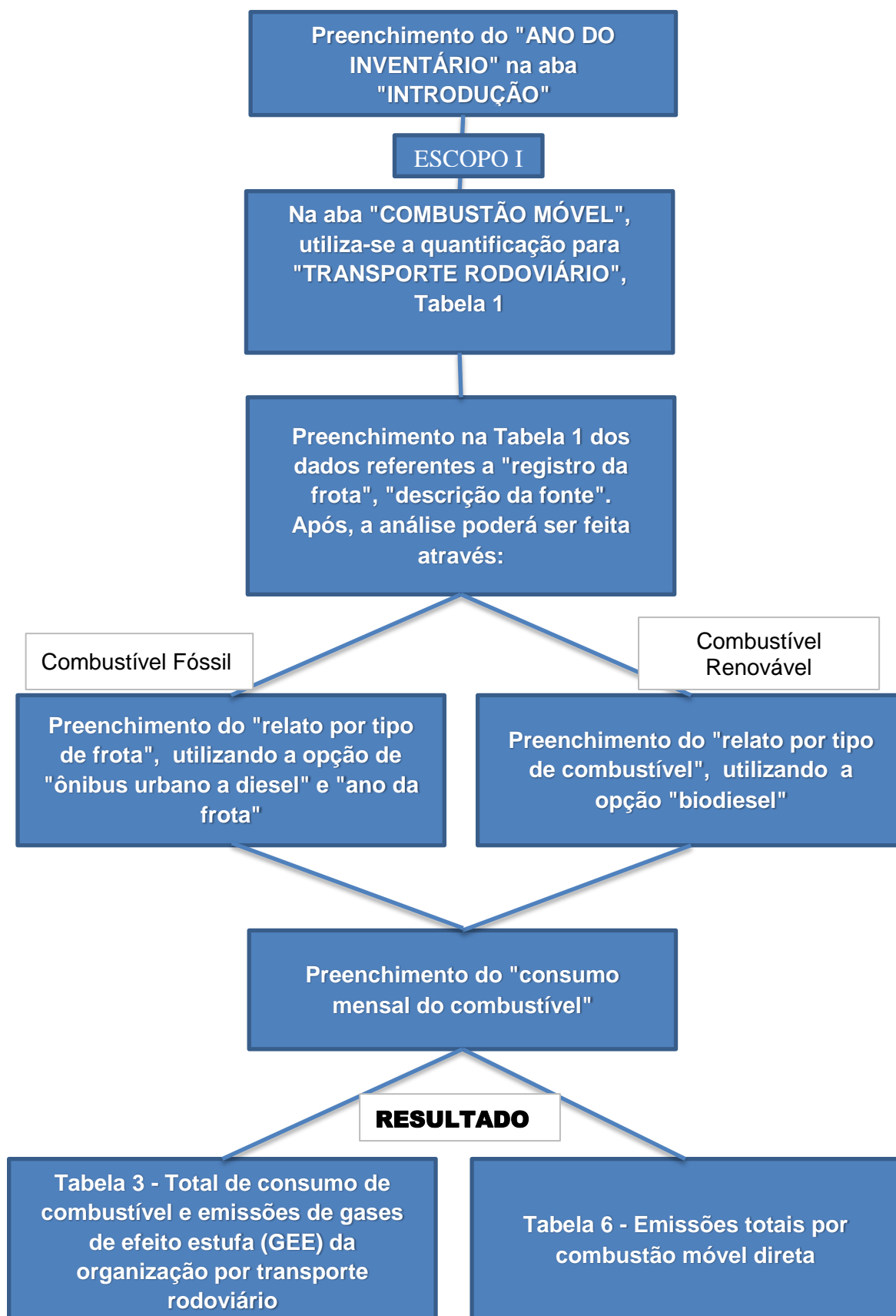


Figura 10 Etapas no manuseio com a calculadora Fonte: Autor

Assim, para a quantificação das emissões de GEEs decorrentes da queima de diesel contendo 5% de biodiesel, utilizou-se a calculadora disponibilizada pelo GHG

PROTOCOL, seguindo os seguintes passos: ano do inventário (2012); Combustão Móvel, Transporte Rodoviário; Tabela 1 (consumo de combustível das fontes móveis de combustão); Registro da Frota (Frota Fóssil); Descrição da Fonte (URBS); Relato por Tipo de Frota; Tipo da Frota de Veículos (ônibus urbano a Diesel); Ano da Frota (2009); Consumo Mensal do Combustível.

Para a quantificação das emissões de CO₂ decorrentes de combustíveis renováveis, seguiram-se os seguintes passos: ano do inventário (2012); Combustão Móvel, Transporte Rodoviário; Tabela 1 (consumo de combustível das fontes móveis de combustão); Registro da Frota (Renovável B100); Descrição da Fonte (URBS); Relato por Tipo de Combustível (Biodiesel); Consumo Mensal do Combustível.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DAS EMISSÕES

Uma vez quantificadas as emissões dos GEEs para cada combustível, em cada frota, o perfil das emissões foi disposto em gráficos expressos em escala logarítmica a fim de dar maior visibilidade à diferença quantitativa das emissões dos diferentes gases. Posteriormente, serão discutidos com base em inventários publicados por outros estados, fazendo a conversão per capita da emissão, ou seja, dividindo o total das emissões pelo número de habitantes, dado este que será fornecido pelo IBGE.

3.4 EMISSÕES POLUENTES

para análise de poluentes, se fara uso de dados obtidos junto a empresa de Urbanização de Curitiba S.A. Os dados de opacidade aferidos no ônibus, foram fornecidos pela empresa, utilizando a metodologia adotada para a realização dos testes de opacidade, que obedece os parâmetros legais contidos na norma ABNT NBR 13037, sendo o equipamento utilizado (Opacímetro), da marca Napro, Modelo NA9000P que atende às especificações da norma nacional ABNT NBR 12897.

Para discussões dos dados, bem como comparação do uso de tecnologia híbrida e, análise e alguns poluentes emitidos, serão admitidos as seguintes informações de fábrica, ressaltando que os comparativos são em relação aos veículos movidos somente a diesel: Material particulado - Redução de 89%; Óxido de nitrogênio (NO_x) – Redução de 80%; CO₂- Redução de 35%.

3.5 ANÁLISE COMPARATIVA DAS EMISSÕES EVITADAS E ECONÔMICA, EM RELAÇÃO À TECNOLOGIA HÍBRIDA

3.5.1 Emissões Evitadas

As emissões aqui quantificadas pelo consumo de biodiesel foram calculadas com base nos fatores de emissão estabelecidos pela Environmental Protection Agency (US EPA). No entanto, o documento 334 da Embrapa Soja, apresenta um estudo intitulado: Balanço de emissões de CO₂ por biocombustíveis no Brasil: histórico e perspectivas do balanço das emissões por biocombustível no Brasil.

O Estudo apresentou um fator de emissão para o biodiesel produzido no Brasil onde foi avaliado todo o ciclo de vida de sua cadeia produtiva, considerando um mix médio da matéria prima de 82% de óleo de soja e 18% de sebo bovino (GAZONI, 2012).

Desta forma, para realização do cálculo das emissões evitadas, utilizou-se o fator de emissão contido na ferramenta *GHG Protocol* em comparação com o fator proposto pelo estudo citado, por este, apresentar um cálculo real das emissões oriundas do biodiesel produzido no país. Tendo como base a quantidade de biodiesel consumida em um ano no transporte público de Curitiba, os cálculos foram apresentados, considerando a sua diferença a caracterização das emissões evitadas. Sendo assim, se fará uso do fator de emissão apresentado no estudo para o biodiesel brasileiro equivalendo a 862 g/l de CO₂ equivalente que será substituído na calculadora do *GHG PROTOCOL* para obtenção dos resultados, em relação ao consumo real de biodiesel no período de um ano.

3.5.2 Análise Econômica sobre o Consumo de Combustível

Para cálculos da análise econômica se fez uso dos dados apresentados na tabela 2. Pela tabela observa-se que o hibribus faz em média 3,14 km/l, e o modelo movido a diesel apresenta uma média de 2,03 km/l, representado assim uma diferença de 54,68% em média de economia de combustível por litro rodado e, ainda, uma diferença de 35,35 % de redução do consumo de combustível quando a

análise recai para uma distância percorrida de 100Km, tendo em vista que para esta distância seriam necessários 49,26 litros de diesel para o modelo B7R da Volvo enquanto que o modelo híbrido consumiria 31,85 litros para a mesma distância.

Tabela 2 Comparativo do consumo de combustível ônibus diesel e híbrido

Economia de combustível	Modelo B7R Volvo	Modelo Híbrido Volvo	Diferença (%)
Média (km/l)	2,03	3,14	54,68%
Média de consumo em litros para cada 100km rodados.	49,26	31,85	35,35%

Fonte: adaptado do relatório de gestão 2010 URBS

Esta eficiência energética implica diretamente na redução de emissão de gases oriundos do transporte coletivo da cidade pela frota de "Hibribus" significando uma redução de 35% menos dióxido de carbono, 80% menos óxido de nitrogênio e 89% em material particulado, quando a análise recai em uma projeção de 70.000 km rodados em um ano, tabela 3.

Tabela 3 : Quantidade de emissão de CO₂, Nox e PM por ônibus em 1 ano com 70.000 Km rodados.

Projeção anual de emissão para 70.000 km rodados por ônibus	Modelo B7R Diesel Volvo	Modelo Híbrido Volvo	Diferença (%)
Emissão CO ₂ (Kg)	90.870	58.560	59,22
Emissão NO _x (Kg)	637	164	25,75
Emissão MP (Kg)	12,6	1,64	11,2

Fonte: adaptado do relatório de gestão 2010 URBS

Desta forma, se tomará por base as tabelas 2 e 3 para avaliação econômica dos gastos com combustível no período de um ano.

4 RESULTADOS

4.1 MATRIZ ENERGÉTICA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NO SETOR DE TRANSPORTE PÚBLICO DA CIDADE DE CURITIBA

Segundo informações da URBS o consumo total de combustível no período compreendido entre setembro de 2012 e agosto de 2013 foi de 74.803.475,49 litros de Combustível, sendo 72.528.003,90 litros de diesel com B5, conforme legislação vigente e, 2.275.471,59 litros de biodiesel B100, conforme indicado na tabela 4.

Tabela 4 Consumo total de combustível diesel e biodiesel utilizado no transporte público em um ano na cidade de Curitiba.

Tipo Combustível	Total Litros	%
Diesel	68.901.603,70	95
Biodiesel (5%)	3.626.400,19	5
B5 (Diesel + 5% Biodiesel)	72.528.003,90	100
B100	2.275.471,59	100
B5 + B100	74.803.475,49	100
Biodiesel (5%)	3.626.400,19	4,85
B100	2.275.471,59	3,04
Diesel	68.901.603,70	92,11

Fonte: Autor

Para construção da matriz energética do consumo dos combustíveis consumidos em um ano, considerou-se consumo fóssil a utilização de diesel puro 68.901.603,70 litros e, para a frota renovável, os 5% de biodiesel presente no diesel e o B100, utilizado puro nos ônibus com tecnologia para este fim, totalizando 5.901.871,78 litros.

Desta forma, obteve-se a matriz energética do consumo combustíveis utilizados no setor de transporte público de Curitiba disposto no gráfico 1. Observa-se inicialmente a predominância do consumo combustível fóssil 92,11%, ao passo que, o combustível renovável representa 7,89% do consumo do período.

Ao compararmos este achado com os resultados do consumo de diesel e biodiesel a nível nacional, conforme relatado no Balanço Energético Nacional 2012 – Ano base 2011, no Brasil, a matriz energética de consumo de combustíveis no setor

de transporte apresentou um percentual de consumo de diesel de 90,5 % ao passo que o consumo de biodiesel representou 9,5% do total do consumo (BRASIL, 2012).

Desta forma, as variações percentuais comparadas ao setor de transporte a nível nacional, quando comparada ao sub setor transporte urbano, o consumo na cidade de Curitiba apresenta uma variação percentual de apenas 1,6% nos combustíveis: fóssil e renovável, este último apresentando um consumo a nível nacional de 9,52%.

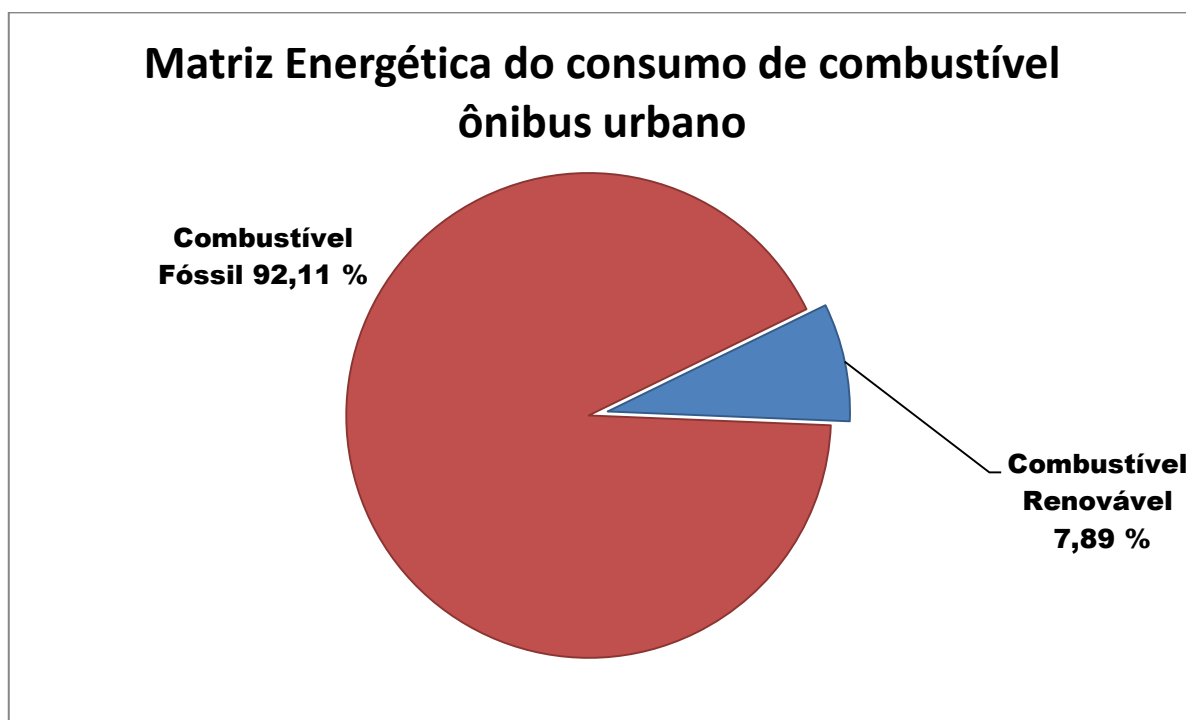


Gráfico 1 Matriz Energética Consumo de Combustível Fóssil e Renovável

Fonte: Autor

As considerações a cerca de um melhor modal rodoviário onde é consumido o combustível, dependem diretamente da expansão da rede rodoviária, somado a um baixo custo de implantação, manutenção e operação desse modal, oferecendo qualidade nos serviços, conforto, segurança para os usuários que utilizam os ônibus diariamente. A inserção de biocombustíveis no setor de transporte coletivo pode significar um avanço nas reduções de emissões GEEs no Brasil e, na melhor qualidade de vida dos seus usuários, uma vez que, parte do CO₂ emitido é absorvido pelas plantas no processo de fotossíntese.

Neste contexto, é visível a representatividade e a necessidade da implementação de políticas que priorizem o consumo de biocombustíveis e/ou seu aumento gradual em misturas no diesel. Fato este que pode ser verificado pelo

percentual de ônibus urbano que circulam na cidade de Curitiba sendo, apenas 30 híbridos (1,55% do total), 34 B100 (1,76% do total) e, 1866 convencionais a diesel, 96,70% do total da frota.

No Brasil, a grande disponibilidade de terras agriculturáveis estimula o aumento e a implantação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira presente hoje no Etanol pelos veículos flex fuel bem como, no biodiesel adicionado em 5% ao diesel conforme legislação vigente.

Por este trabalho é possível observar a grande importância que assume as políticas voltadas ao consumo de combustíveis renováveis, uma vez que, 4,85% do total de biodiesel presente na matriz de consumo de combustível nos ônibus urbanos é fruto da implantação do PNPB, vide tabela 8.

Destarte, aumenta a busca por eficiência e/ou novos biocombustíveis que possam ser substituidores dos fósseis. Dentre os biocombustíveis, previstos para 2030, sendo comercialmente viáveis, estão os biocombustíveis de segunda geração: os gerados por hidrólise enzimática de materiais celulósicos e por via tecnológica da gaseificação de biomassa (GAZONNI, 2012).

4.2 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES

Frente ao aquecimento global, será apresentado a quantificação dos GEE emitidos pelo setor de transporte, especificamente do modo rodoviário, ônibus urbano, da cidade de Curitiba, afim de que este, possa contribuir para o monitoramento e tomada de ações que visem o controle e/ou mitigação de políticas de redução com vistas a contribuir com a saúde da população Curitibana e ao meio ambiente.

4.2.1 Emissões Frota Fóssil

A análise do trabalho irá apresentar os resultados referentes a emissões de GEEs, relatando o tipo de frota e, o consumo de combustível utilizado nela. A cidade de Curitiba conta com uma frota de 1866 ônibus que operam a diesel B5, com idade média de 4,42 anos.

Os resultados das emissões dos GEEs referentes à queima de diesel da frota aqui caracterizada como frota fóssil, são demonstrados no gráfico 2. No período estudado, os ônibus consumiram um total de 71.775.378,83 litros de diesel. As emissões oriundas desta queima resultaram em 182.126,44 toneladas métricas de CO₂, 14,77 toneladas métricas de CH₄ e, 1,45 toneladas métricas de NO₂. Os 5% de combustível renovável presente diesel emitiram 8.968,58 toneladas métricas de CO₂.

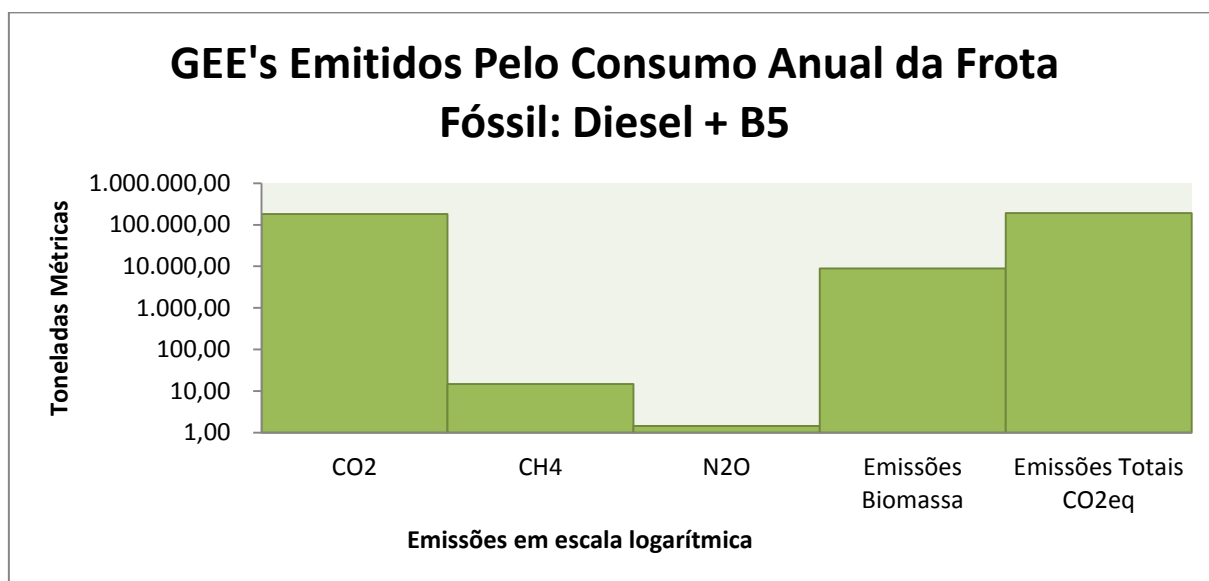


Gráfico 2 Resultados emissões GEEs frota fóssil

Fonte: Autor

Assim, uma vez quantificadas as emissões e, a fim de comparar o diferentes GEEs emitidos, tomando como base a quantidade de CO₂ que teria o mesmo potencial de aquecimento global GWP, utilizou-se os valores de referência medidos no período compreendido a 100 anos, para cada GEE quantificado, com o objetivo de avaliar quanto do impacto ambiental foi gerado por uma mesma quantidade, de uma diferente espécie de gás. Sendo assim, o total do período contabilizou uma emissão de 191.855,77 toneladas métricas de CO₂ equivalente advindos da frota fóssil.

4.2.2 Emissões Frota Renovável B100

O setor de transporte coletivo da cidade conta ainda, com 34 veículos que operam a 100% de biodiesel como combustível, frota esta que foi caracterizada como Frota Renovável B100. Segundo a URBS, destes 28 são os chamados biarticulados e 6 articulados. A empresa conta ainda com a autorização concedida

pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) de até 270.000 km/mês, o que da margem para ampliação da frota (URBS, 2012).

Os seis ônibus articulados consumiram 670.736,566 litros biocombustível no período, e os 26 biarticulados 1.744.860,345 litros de biocombustível, totalizando um consumo anual de 2.230.670,49 litros de biodiesel B100.

Desta forma, as emissões decorrentes da queima do combustível B100 no período estudado resultaram em 5.574.60 toneladas métricas emitidas de CO₂.

Com relação à emissão de poluentes quando comparada a uma frota equivalente de ônibus movidos a diesel, a frota abastecida a 100% com biodiesel emite cerca de 63,7% menos material particulado (fumaça), 46% menos monóxido de carbono, 100% menos óxido de enxofre e 65% menos hidrocarbonetos totais (URBS, 2012).

4.2.3 Emissões Frota Renovável Híbrida: B5 e B100

Os resultados apresentados a seguir farão menção à frota renovável, no entanto, esta foi caracterizada como Frota Renovável Híbrida B5 e Frota Renovável Híbrida B100. Curitiba atualmente possui um número de 30 (trinta) ônibus híbridos operando no sistema de transporte coletivo de cidade, sendo 10 (dez) interbairros e 20 (vinte) convencionais. Todos os veículos foram produzidos em 2012. Os veículos que funcionam a motor elétrico e motor a combustão interna paralelamente, utilizam diesel e biodiesel como combustível, sendo que 28 (vinte e oito) ônibus operam com Diesel B5 e 02 (dois) com Biodiesel B100 (URBS, 2012).

O consumo dos ônibus híbridos B5 foram relatados no período compreendido a 11 meses: de outubro de 2012 a agosto de 2013. No mesmo período o consumo médio de diesel B5 fora de 68.420,552 litros, totalizando 752.626,068 litros de diesel utilizados na frota renovável B5. O perfil das emissões de GEEs correspondentes a esta queima são apresentados no gráfico 3.

Assim, as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O no período corresponderam a: 1.909,75; 0,15 e a 0,02 toneladas métricas, respectivamente. As emissões CO₂ oriundas dos 5% de biodiesel, presente no diesel (emissões de biomassa), resultaram em 94,043 toneladas métricas de CO₂ equivalente. As emissões equivalentes, considerando o GWP de cada gás e convertidos em CO₂ totalizaram

2.011,77 toneladas métricas de CO₂ equivalente em 11 meses, correspondente a esta frota.

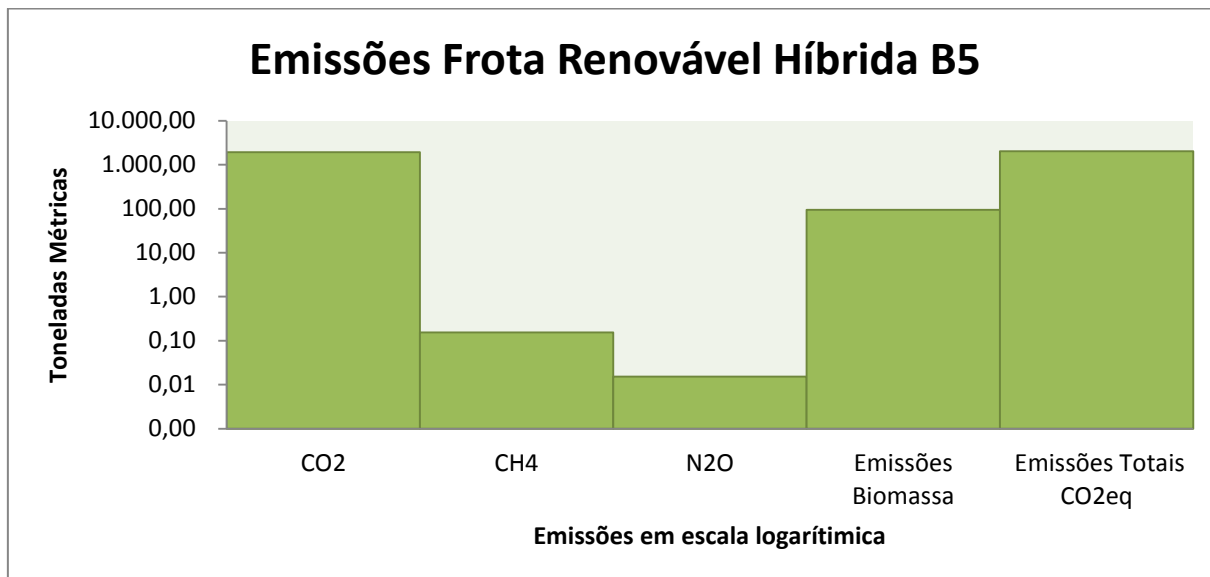


Gráfico 3 Emissões GEEs Frota Renovável Híbrida B5

Fonte: Autor

Dois ônibus híbridos estão em testes na cidade operam a B100, o consumo nestes dois ônibus datam o início no mês de dezembro de 2012. Sendo assim, para o período estudado, serão considerados 9 (nove) meses, totalizando um consumo de 44.801,107 litros de biodiesel 100% puro. As emissões no período contabilizaram 111,961 toneladas métricas de CO₂.

A utilização de ônibus híbrido assume uma vantagem significativa frente aos ônibus convencionais em relação à redução das emissões tanto de GEEs, quanto de outros poluentes. Isto porque nas arrancadas, onde o ônibus necessita de mais força, ele reaproveita a energia, a medida que o ônibus freia, pois gera energia cinética que é transformada em energia elétrica recarregando as baterias.

Sendo assim, a energia que geralmente é desperdiçada na frenagem é utilizada para recarregar a bateria, configurando assim o seu funcionamento por meio de um sistema de frenagem regenerativa, ou seja, a energia antes desperdiçada na forma de calor passa a ser recuperada nos freios, pois, o motor elétrico retira a energia da frenagem para gerar o movimento do veículo (RASPANTI, 2013).

Outra vantagem, é que quando o ônibus híbrido está parado ou circulando por meio da velocidade média de até 20 km/h, circula por meio da fonte elétrica, neste

momento ele está disponibilizando sua eficiência máxima. Como resultado, têm-se um veículo silencioso, não ocorrendo consumo de combustíveis e, por consequência nenhum poluente é emitido (URBS, 2013).

A utilização da tecnologia híbrida paralela pode chegar a uma redução de até 90% das emissões totais quando comparado com os convencionais, redução de 35% do consumo de combustível, 35% de redução nas emissões de CO₂ e queda de até 50% nas emissões de NO_x (URBS, 2013).

Aliados, os veículos híbridos aos biocombustíveis, podem significar uma solução energética favorável para redução das emissões de GEE's presente nos grandes centros urbanos, devido à queima de combustíveis fósseis dos ônibus convencionais. Nestes locais e, principalmente nas capitais do país, o excesso de veículos, além de ocasionar imobilidade, tem contribuído muito expressivamente para a perda da qualidade de vida bem como mortes ocasionadas pela poluição atmosférica.

4.2.4 Emissões Totais de GEE

Frente ao perfil das emissões apresentados por tipo de frota, os resultados totais a cerca das emissões de GEE, pela queima de combustível B5 mais B100, são apresentados no gráfico 4 . O setor de transporte público da cidade consumiu um total de 74.803.477,00 litros de combustível para movimentação dos ônibus urbanos na cidade no transporte coletivo, sendo que, destes 72.528.003,898 litros correspondem a utilização de diesel e, 2.275.471,59 litros a utilização de biodiesel B100.

Por este consumo, o transporte público da cidade fora responsável pela emissão de 184.036,19 toneladas métricas de CO₂, 14,93 toneladas métricas de CH₄, 1,47 toneladas métricas de N₂O, o que representam um total de 184.804,93 toneladas métricas de CO₂ equivalente oriundos da utilização de diesel nos motores.

Para a utilização de biodiesel nos motores, foram emitidos 14.749,18 toneladas métricas de CO₂, sendo que destes, 9.062,62 toneladas métricas são oriundas dos 5% presentes no diesel e, 5.686,56 toneladas métricas da utilização de biodiesel puro nos ônibus com motores adaptados e devidamente regulamentados pela ANP para este fim. Assim, o total de CO₂ equivalente emitido no período correspondeu a uma emissão de 199.554,10 toneladas métricas de CO₂ equivalente

no período contabilizado compreendido entre os meses de setembro de 2012 e agosto de 2013.

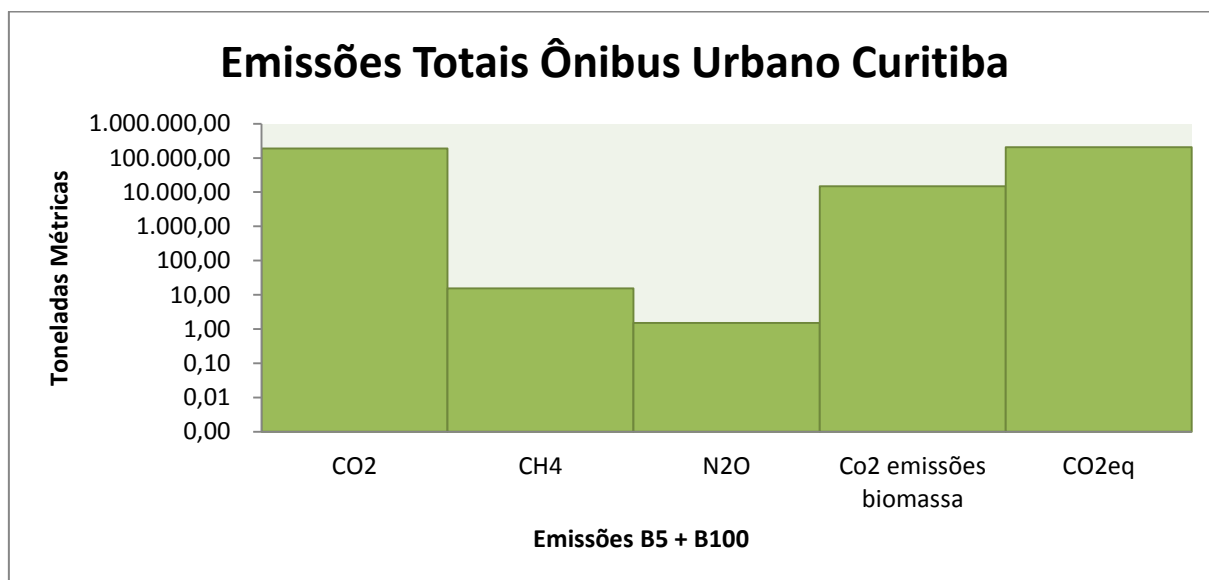


Gráfico 4 :Emissões totais de GEE transporte público de Curitiba

Fonte: Autor

A quantificação das emissões de CO₂ pelos diversos setores da economia têm sido apresentado através relatórios e inventários de emissões em diversos estados brasileiros, dentre eles Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Através da visualização de quanto é emitido de CO₂ equivalente, o governos podem montar estratégias de reduções das emissões e, comparar suas emissões frente a outros estados contabilizando o valor emitido per capta.

No ano de 2008, o município de Curitiba inventariou suas emissões através do Inventário e Balanço das Emissões de Gases de Efeito Estufa no município de Curitiba elaborado pela empresa ECOWOOD, publicado no ano de 2011.

Conforme tratado no documento, o setor de Energia foi o maior emissor de CO₂ equivalente, sendo responsável por 86% do total das emissões, seguido do setor de Tratamento de resíduos 13,76% e Setor agricultura, florestas e outros usos do solo 0,1%. O setor de transporte dentro do setor de Energia, foi responsável por 85,03% do total das emissões.

A frota operacional de ônibus coletivo na cidade de Curitiba em 2008 era composta de 5646 veículos, representado 0,5% do total de veículos contabilizados no do setor de energia que foi dividido em Industrial; Comércio; Residências; Público;

Agricultura; Geração elétrica e, em transporte (subdividido em transporte terrestre: individual, coletivo e carga; transporte aeroviário e o transporte ferroviário).

O relatório estimou um total de emissão de 2.837.822 toneladas de CO₂ equivalente referente ao consumo de combustíveis no Setor Energia do município de Curitiba no ano base do estudo, 2008. Deste, o transporte rodoviário foi responsável pela emissão de 1.998.444 toneladas de CO₂ equivalente.

As contribuições das emissões por tipo de combustível no setor de energia no ano 2008 se deram majoritariamente pelo consumo de diesel (35% da participação nas emissões dos combustíveis), seguido pela gasolina 28,57%. As emissões do diesel resultaram em 997.629 toneladas de CO₂ equivalente e, as da gasolina 811.191 toneladas de CO₂ equivalente. Os demais combustíveis como Querosene, Álcool hidratado, GLP, Gás Natural, Álcool Anidro, Óleo combustível e Gasolina de Aviação emitiram respectivamente: 274.478, 247.589, 216.771, 171.075, 110.202, 6.468, 3.744 toneladas de CO₂ equivalente (CURITIBA, 2011).

Um fator importante a destacar é que o estudo não contemplou a quantificação das emissões pela queima de biomassa presente no referido ano (2008) obrigatoriamente em 2% conforme PNPB.

Neste trabalho, calculou-se as emissões do diesel, exclusivamente do sub setor transporte coletivo ônibus urbano, que quantificou uma emissão de aproximadamente 200.000 toneladas métricas de CO₂ equivalente, sendo que deste total aproximadamente 15.000 toneladas métricas de CO₂ equivalente foram advindas da queima de biodiesel presente em 5% no diesel e, em B100 utilizados no ônibus que foram adaptados e autorizados pela ANP para circularem com este com o combustível renovável puro.

No estado do Rio de Janeiro, no ano de 2011 foi publicado o Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro, pela Fundação COPPETEC e Secretaria do Ambiente (2011), sendo que um ponto de destaque nesta publicação é que 14% do CO₂ emitido no estado do Rio de Janeiro em 2010 foi proveniente de biocombustíveis, considerando neste caso o etanol anidro, etanol hidratado e o biodiesel.

Ao compararmos este percentual com os achados deste trabalho que quantificou as emissões apenas a cerca do transporte público na cidade de Curitiba, utilizando biodiesel como único biocombustível quantificado, observou-se que,

aproximadamente 8% do total das emissões de CO₂ são advindas da utilização de combustível renovável na cidade de Curitiba onde estas emissões foram ou serão absorvidas pelas plantações de matérias primas.

Outro ponto de destaque na publicação é que, no estado do Rio de Janeiro as emissões de 45% CO₂ são advindas da utilização de diesel como combustível e, 23% do total desta emissão é advinda do transporte urbano.

O estado de São Paulo, recentemente também inventariou suas emissões no documento: Emissões veiculares no Estado de São Paulo 2012, diferentemente da publicação feita no Rio de Janeiro, o estado separou as emissões por regiões. Sendo assim, desta publicação, se discutirá a quantificação das emissões na Região Metropolitana da Baixada Santista por apresentar uma densidade populacional aproximada com a de Curitiba, bem como um número próximo de ônibus utilizado para o transporte urbano das cidades que compoem a região escolhida.

A região está localizada no litoral do estado de São Paulo ocupando uma área de 2.422,776 km². É formada pelos municípios: Santos, São Vicente, Guarujá, Praia Grande, Cubatão, Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá e Bertioga e, é a terceira maior região do estado de São Paulo em termos demográficos, com uma população 1.765.277 habitantes segundo dados do IBGE.

A frota da região da Baixada Santista em 2012, para o deslocamento da população na área urbana dos municípios que o integram, conta com 2479 ônibus, com uma idade média da frota estimada em 11 anos, conforme dados publicados no relatório Emissões Veiculares no Estado de São Paulo (CETESB, 2012).

Em 2012, a circulação da frota de ônibus urbano foi responsável pela emissão de 187.000 toneladas de CO₂ equivalente e, com relação a poluentes locais a frota emitiu 248 toneladas de CO, 1396 toneladas de NOx, 56 toneladas de NMHC, 34 toneladas de MP e 6 toneladas de SO (CETESB, 2012).

Frente a esta emissão e, ao cenário apresentado neste trabalho, cabe ressaltar que o total das emissões no transporte coletivo ônibus urbano da cidade de Curitiba ultrapassam os valores quando comparados com a região da Baixada Santista, sendo 199.554,10 toneladas métricas de CO₂ e 187.000 toneladas métrica de CO₂, respectivamente.

Logo, é possível inferir que existe uma diferença significativa na emissão devido ao fato de ambos os trabalhos não utilizarem o mesmo percurso

metodológico. O relatório apresentado pelas COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB) utilizou a metodologia *Bottom-up* que estima a emissão dos poluentes a partir da frota, da distância percorrida e dos fatores de emissão dos veículos. Diferentemente deste trabalho que quantificou as emissões de GEEs pelo método *Top-down* quantificando as emissões a partir do consumo real do combustível utilizado no período estudado.

No Brasil em 2007, o setor de transporte foi responsável pela emissão de aproximadamente 159 milhões de toneladas de CO₂ equivalente correspondendo a 91% do total das emissões do seu setor, o de energia. Deste, 58% aconteceram no meio urbano metropolitano e 33% no meio rural pelo transporte regional (GOUVELLO *et al.*, 2010).

Com estes dados é possível quantificar as emissões per capita do setor de transporte a nível nacional, para posteriormente compará-los, com os valores das emissões per capita do mesmo setor com os municípios de Belo Horizonte e da Região da Baixada Santista, discutidos neste trabalho. Desta forma, conforme dados do IBGE a população brasileira em 2007 era composta de 183.987.291 pessoas. Sendo assim, as emissões per capita a nível nacional do setor de transporte corresponderam a 0,5 toneladas de CO₂ equivalente.

Na cidade de Belo Horizonte, por exemplo, o setor de energia emitiu em 2007, 2.601.081 toneladas de CO₂ equivalente, correspondendo a 82% do total das emissões na capital mineira, sendo 33% oriundo da utilização de diesel como combustível. Assim, o consumo de diesel foi responsável por 858.356,73 toneladas de CO₂ equivalente o que corresponde a uma média de 0,35 toneladas de CO₂ equivalente per capita (BELO HORIZONTE, 2009).

Em 2008, a população de Curitiba era composta de 1.828.092 pessoas. Contabilizando uma emissão per capita total de (considerando todos os setores) 1,92 toneladas de CO₂ equivalente por habitante. Sendo que as emissões per capita pelo setor de energia corresponderam a 1,65 tonelada de CO₂ equivalente por habitante, representando 86,13 % do total das emissões per capita no município (CURITIBA, 2011).

Em 2012, a população da região metropolitana da Baixada Santista do Estado de São Paulo foi responsável pela emissão de 0,10 toneladas de CO₂ per capita advindos do transporte coletivo ônibus urbano.

Com os achados deste trabalho, Curitiba emitiu uma média 0,11 toneladas de CO₂ equivalente por pessoa no ano de 2012, advinda do transporte coletivo ônibus urbano. Em comparação ao cenário per capita nacional, as emissões a nível urbano da cidade de Curitiba advindas da combustão móvel do transporte coletivo estão aproximadamente 82% abaixo da média nacional.

O fato é que, em todos os cenários as políticas públicas voltadas para promover o desenvolvimento de baixo carbono no setor de transporte podem tornar o cenário de emissões mais favorável à redução, presente no uso de biocombustíveis, seja com um aumento do percentual ao óleo diesel, ou seja, com novos ônibus movidos a B100, como no caso de Curitiba.

Sendo assim, acredita-se que estratégias de redução de emissões no setor de transporte devam ser prioridade. A quantificação através de inventários de emissões pode auxiliar na busca por estratégias de redução, priorizando a baixa emissão e/ou a compensação do carbono emitido.

4.3 RESULTADOS TESTES DE OPACIDADE

Pela avaliação dos níveis de opacidade (fumaça preta) é possível identificar o estado de conservação dos veículos do ciclo diesel utilizados no transporte coletivo ônibus urbano. Além disso, os testes de opacidade são utilizados para classificar os níveis de emissão de veículos a diesel e, medir o desempenho ambiental da queima dos combustíveis e/ou biocombustíveis.

No Brasil, conforme relatado neste trabalho, a efetividade se dá por meio de programas de Inspeção e Manutenção, apoiados em resoluções do CONAMA para aprovação ou reprovação dos veículos em uso, através de testes de medição de gases (opacidade) que, obedecem a Resolução CONAMA 251/99. A medição é realizada por meio de um opacímetro que deverá ser homologado pelo INMETRO e, obedecer a norma brasileira NBR 13.037 - Gás de Escapamento Emitido por Motor a Diesel em Aceleração Livre -Determinação da Opacidade - Método de Ensaio.

Com relevância a este trabalho, apresenta-se a tabela 9, os ensaios realizados pela URBS da frota híbrida e, do modelo BR7 da VOLVO. Ambos os veículos se enquadram na fase P7 do PROCONVE, sendo assim, conforme a resolução nº003 de 26/08/90 do CONAMA os limites máximo de concentração de fumaça preta no perímetro urbano de Curitiba obedecem os índices descritos na

tabela 6, da mesma resolução, uma vez que referem-se a veículos fabricados posterior a 2000, operando a altitude de mais de 900 metros acima do nível do mar cujo índice de limite máximo é $2,3 \text{ m}^{-1}$.

Inicialmente, faz-se importante relatar que no período avaliado toda a frota apresentou-se em conformidade aos limites máximos estabelecidos pela legislação vigente. Posteriormente, conforme pode-se observar na tabela 5, durante 9 (nove) meses a nova frota que vem sendo incorporada na cidade apresentou valores significativamente bem abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA, com um destaque representativo aos valores de opacidade emitidos pela frota híbrida operada principalmente com Biodiesel.

Tabela 5 Resultados dos ensaios de teste de Opacidade

Média	Jan/13	Fev/13	Mar/13	Abr/13	Mai/13	Jun/13	Jul/13	Ago/13	Set/13	Média
Híbrido B100	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,02	0,01	0,10	0,04
Híbrido B5	0,31	0,30	0,28	0,25	0,24	0,24	0,26	0,12	0,23	0,25
B7R B5	0,29	0,29	0,37	0,34	0,30	0,29	0,27	0,53	0,22	0,32

Fonte: URBS, adaptado pelo autor.

Pela tabela, é possível inferir que os ônibus convencionais, representados no modelo BR7 da VOLVO apresentam maior opacidade na emissão do gases em relação aos híbridos B100 e B5. Sendo que o modelo BR7 apresenta 88,90% maior nível de opacidade emitido quando comparado ao híbrido B100, 56,13%. O melhor cenário esta na utilização da tecnologia híbrida com biocombustível, neste caso, a utilização de 100% biodiesel combinado paralelamente com o motor elétrico, apresenta 93,45% de redução na emissão dos níveis de opacidade.

A redução da opacidade é representativa e favorável ao uso do Biodiesel que em parte, é explicado pela ausência de enxofre no biocombustível. Isto porque o enxofre compartilha o oxigênio disponível na fase tardia da combustão com o carbono resultante da queima parcial, em algumas condições de funcionamento do motor, aumentando a produção de material particulado (MAZIERO *et al.*, 2006).

Em seu trabalho GUARIEIRO *et al.* (2011) relatam que os poluentes lançados na atmosfera pelos veículos são provenientes do processo de combustão incompleta, quando o combustível injetado no cilindro não encontra a quantidade necessária de ar para sua queima, sendo então, considerados primários, ou seja,

são emitidos diretamente pelo escapamento automotivo, como os óxidos de carbono, óxidos de nitrogênio (NO_x) e enxofre (SO_x), alcoóis, aldeídos, hidrocarbonetos (HC), ácidos orgânicos e material particulado. Ressaltam ainda, que os poluentes primários podem interagir entre si ou sofrer fotólise e formar os poluentes secundários, como ozônio, nitratos de peroxiacetila (PAN) e, que podem ser tão nocivos ao meio ambiente quanto os primários (GUARIEIRO *et al.*, 2011).

4.4 EMISSÕES EVITADAS

Considerando o consumo anual de B100 e, mais, os 5% de biodiesel presente no diesel, têm-se um consumo de combustível renovável utilizado na frota de ônibus urbano da cidade de Curitiba entre os meses de setembro de 2012 a agosto de 2013 de 5.901.871,78 litros de biodiesel.

Tomando por base o valor total das emissões de B100 oriundos da queima do combustível e, descontado os resultados obtidos com o fator de emissão do biodiesel brasileiro, obteve-se uma diferença real na emissão, sendo considerado neste trabalho como emissões evitadas, totalizando um valor de 9.661,96 toneladas métricas de CO_2 equivalente, conforme disposto no gráfico 5.

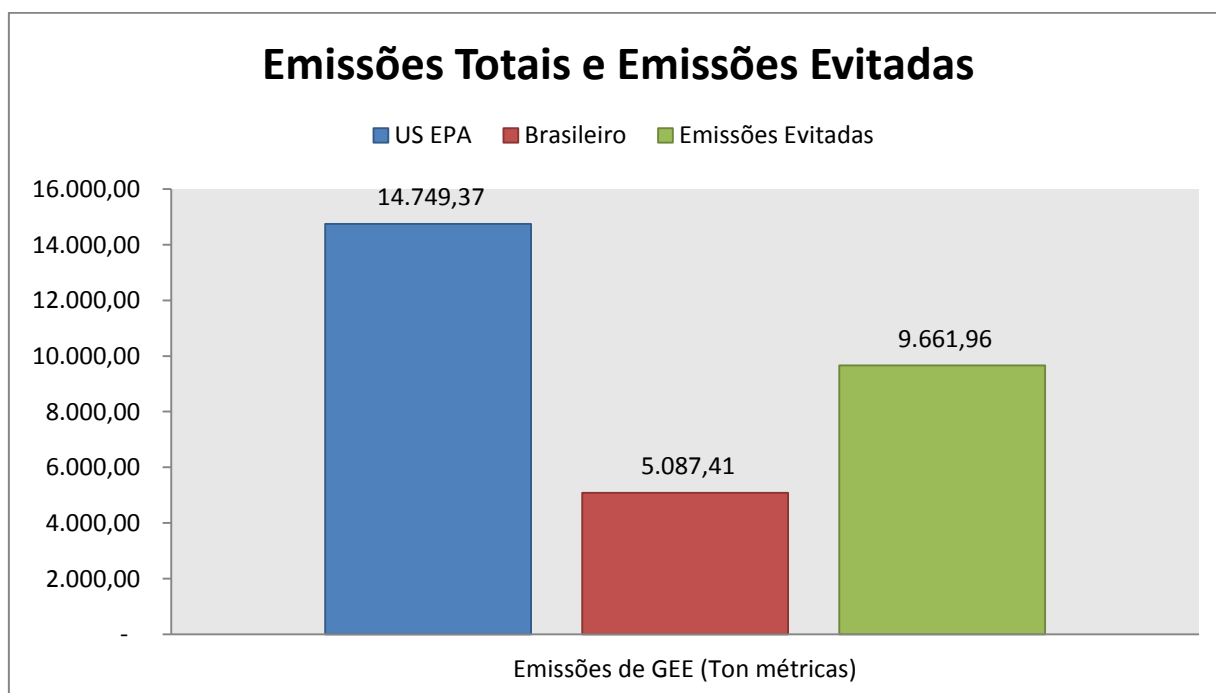


Gráfico 5 Emissões Totais e Emissões Evitadas pelo uso de Biodiesel com fatores de emissão US EPA e Brasil. Fonte :Autor

Segundo a ONU, o transporte corresponde a 30% do consumo comercial de energia e por cerca de 60% do consumo total mundial de petróleo líquido. Ressalta ainda que nos países em desenvolvimento a rápida motorização e a insuficiência de investimentos em planejamento de transportes urbanos, manejo e infraestrutura do tráfego, estão, criando problemas cada vez mais graves em termos de acidentes e danos a saúde, além de ruídos excessivos, congestionamentos e perda de produtividade, ocasionando um grave impacto sobre as populações urbanas (IEA, 2009).

De acordo com a resolução nº 44/228 da Assembleia Geral da ONU (1995) estabeleceu-se uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas ao meio ambiente e desenvolvimento, através da Agenda 21. Onde, preconiza as organizações internacionais e doadores bilaterais a avaliarem uma abordagem abrangente com relação ao planejamento e manejo de transportes urbanos priorizando sistemas de transportes eficientes e ambientalmente saudáveis em todos os países e, para este fim, orienta que os países devem: integrar o planejamento do uso da terra e transportes, com vistas a estimular modelos de desenvolvimento que reduzem a demanda de transporte; adotar programas de transporte urbano que favoreçam transporte público com grande capacidade; estimular modos não motorizados não motorizados de transporte com a construção de ciclovias para pedestre seguras nos grandes centros urbanos e suburbanos; dedicar especial atenção ao manejo eficaz do tráfego, ao funcionamento eficiente dos transportes públicos e a manutenção da infraestrutura do transporte.

Além disso, eficiência, que pode estar representada no aumento do número de passageiros/km como é o caso de metrô e trem, melhorias da infra-estrutura de transportes, sistemas inteligentes de monitoramento do trânsito e estímulo ao uso de veículos híbridos que proporcionariam uma mudança direta no setor de transportes, com o uso de outras fontes de energias mais limpas e renováveis, representando eficiência energética no transporte público, presente na redução das emissões de GEE. (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1995).

ROSA *et al.* (2008) relataram em seus estudos que, por estimativa, em 2050 a população urbana deve crescer em torno de 54% em relação a população em

2008 e, que se mantido o padrão atual de consumo de combustíveis, as emissões de CO₂ aumentarão 590%. No entanto, apresentam que, para as mesmas condições de população e mobilidade, a utilização plena de biocombustíveis em substituição ao diesel fóssil, aumentaria apenas 165% o nível de emissão no país em 2050.

Este trabalho mostrou que, os ganhos ambientais são significativos quando utiliza-se combustível renovável. Do total das emissões advindas do transporte por ônibus urbano na cidade de Curitiba, aproximadamente 10.000 toneladas métricas de CO₂ deixaram de ser emitidas no referido ano.

4.5 ANÁLISE ECONÔMICA

Considerando o consumo de combustível (diesel) anual pelo modelo BR7 da VOLVO como sendo 72.528.003,90 litros, rodando a média de 2,03 km/l, obtêm-se uma distância percorrida de 147.231.847,92 km, ao passo que os ônibus híbridos que fazem em média 3,14 km/l, para percorrer a mesma quilometragem, necessitam 46.889.123,54 litros, uma diferença de 35,35 % menos combustível.

Diante disto, considerando o custo do diesel R\$ 2,44 (média de preço fornecida pela ANP entre os dias 12/01 a 18/01/14) e, multiplicando o consumo de combustível pelo modelo BR7 da VOLVO e o ônibus híbrido, observou-se que os ônibus movidos a diesel gastariam R\$176.968.329,52 em combustível, enquanto que, os híbridos R\$114.409.461,44.

Portanto, em um ano, é possível obter ganhos financeiros de R\$62.558.868,08 com o uso da tecnologia híbrida conforme tabela 6, além de ganhos ambientais, emissão zero de enxofre quando combinado com biodiesel, 25,75 % menos óxidos de nitrogênio e 11,2% menos material particulado, estes dois últimos quando o motor operar a diesel resultados da análise econômica são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 Resultados Análise Econômica: Comparação de gasto com combustível em dois diferentes ônibus.

Tipo Veículo	Km /L	KM percorridos	Litros consumidos	% Consumo	Preço Diesel ANP	Gasto com combustível
BR7 VOLVO	2,03	147.231.847	72.528.003,90	100%	R\$ 2,44	R\$ 176.968.329,52
HÍBRIDO	3,14	147.231.847	46.889.123,54	-35,35%	R\$ 2,44	R\$ 114.409.461,44
Diferença			25.638.880,36			R\$ 62.558.868,08

Fonte: Autor

Recentemente, um estudo da ONG Saúde e Sustentabilidade (2013), apontou que entre 2006 e 2011, morreram mais de 17.000 pessoas precocemente e, ocorreram, 68.500 internações relacionadas à poluição no estado de São Paulo.

A maior causa mortis oriunda da poluição fora devido à inalação de poeira fina e materiais particulados, onde 80% destes poluentes são advindos da combustão incompleta de combustíveis. As partículas, quando inaladas, prejudicam o sistema respiratório, sendo as crianças e idosos o grupo de risco mais vulneráveis a desencadear problemas respiratórios (VORMITTAG *et al.*, 2013).

O estudo apontou ainda, que em cinco anos, a poluição fora responsável por 17.443 mortes no Estado de São Paulo, um índice de 2,21 vezes superior ao de mortes ocasionada por acidentes de trânsito no mesmo ano no Estado. Só na capital paulista, São Paulo, o número chegou a 4.655 óbitos e, na região metropolitana, 7.932 óbitos (VORMITTAG *et al.*, 2013).

Além disso, em 2011, os gastos públicos com internações por doenças cardiovasculares, pulmonares e câncer de pulmão ocasionados pela inalação de gases poluentes somaram aproximadamente R\$ 31 milhões. No entanto, se considerado os gastos públicos e (suplementar) privado de internações pelas mesmas doenças esses valores assumem respectivamente R\$ 76 milhões e R\$ 170 milhões, totalizando os gastos em torno de R\$ 246 milhões (VORMITTAG *et al.*, 2013).

Entretanto, ao se investir no setor de transporte uma análise mais criteriosa da viabilidade econômica de custos deverá ser considerada antes da implantação de novas tecnologias renováveis, avaliando a qualidade dos serviços ofertados afim de que também, supra a expectativa dos usuários do transporte coletivo.

Além do mais, o que se espera é que a otimização dos serviços prestados possa contribuir de forma decisiva tanto no bem-estar da comunidade em termos de

aumento da mobilidade urbana e acessibilidade, quanto na qualidade de vida e redução de gastos com saúde pública, ocasionados pela inalação de poluentes atmosféricos.

No entanto, acredita-se ser fundamental o envolvimento direto de políticas públicas de apoio a pesquisa, desenvolvimento, inovação tecnológica, incentivos à produção e uso de biocombustíveis além de modernização e infraestrutura no setor de transporte com vistas a contribuir na redução das emissões de GEEs e poluentes.

5 CONCLUSÕES

O perfil de consumo de combustível utilizado no setor de transporte público ônibus urbano da cidade de Curitiba, apresentou uma matriz energética composta 92,11%, de combustível fóssil (diesel puro) e, 7,89% de combustível renovável. Frente ao consumo, verificou-se que 97,17%, da emissão de CO₂ equivalente é advinda do uso de combustível de origem fóssil, e apenas 2,83% do consumo de biocombustível, neste caso, o biodiesel utilizado puro.

Entre o período de setembro de 2011 a agosto de 2012, teve uma emissão total de 199.554,10 toneladas métricas de CO₂ equivalente advindos do consumo de diesel e biodiesel, sendo que este último foi responsável pela emissão de 14.749,18 toneladas métricas de CO₂. Este perfil de emissão no setor urbano coloca Curitiba em aproximadamente 82% abaixo da mediados níveis de emissão quando comparados a emissão média nacional no mesmo setor.

Este estudo mostrou que a tecnologia híbrida renovável, apresenta uma emissão no nível de opacidade bem inferior quando comparado às emissões do próprio hibribus só que operando a diesel B5 e, ao ônibus diesel convencional o modelo BRT da VOLVO que se enquadra na fase P7 do PROCONVE sendo seus níveis 6,55%, 40,99% e 52,46% respectivamente.

Ganhos ambientais foram quantificados pela utilização do uso de biodiesel no período estudado, representando uma diferença real na emissão, de 9.661.96 toneladas métricas de CO₂ pela metodologia utilizada e adaptada a realidade do combustível que é produzido aqui no Brasil.

Pela análise econômica quanto ao consumo de combustível, se toda a frota da cidade de Curitiba fosse híbrida, com o total do volume de combustível utilizado, obteria-se uma economia de R\$ 62.558.868,08, que daria para cobrir duas vezes os gastos com saúde pública na capital mais populosa do Brasil.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo quantificou as emissões exclusivamente do consumo de combustível no setor de transporte ônibus urbano da cidade de Curitiba. Não foram consideradas na análise as emissões advindas do transporte intermunicipal e estadual.

Desta forma, foram descartados da análise os demais tipos de transportes: rodoviários de veículos leves e pesados incluindo vans, frotas táxis e transportes aéreo, hidroviário e ferroviário.

Assim, sugere-se como trabalho futuro, a quantificação das emissões advindas da queima de outros combustíveis como a gasolina, etanol e o gás natural, o que daria maior visibilidade das emissões no setor.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução nº 65, de 09 de dezembro de 2011**. Disponível em: < http://www.ipeoleo.com/wpcontent/uploads/2012/05/resolucao_anp_n65_oleo_diesel_S10_BS50_BS500_BS1800.pdf> Acesso em: 20 setembro 2013

ALVIN, D. S. **Estudos dos principais precursores de ozônio na região metropolitana de São Paulo**. 2013. 179 f.. Tese (Doutorado Ciências na área em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 2013.

ANDRADE, André L. C.; MATTEI, Lauro. **Consumo energético e emissões de CO2: uma análise do setor de transporte brasileiros**. Florianópolis, 2011. Disponível em: < <http://necat.ufsc.br/files/2012/09/ArtAndre-Lauro-ANPEC2011-TRANSPORTES.pdf> > Acesso em: 23 setembro 2012

BARAN, R; LEGEY L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. Congresso Brasileiro de Energia, 2010. Disponível em: < www.abve.org.br/.../Veiculos_eletricos_perspectivas_Brasil_BNDES.pdf > Acesso em: 07 abril 2013.

BELO HORIZONTE (Município), Secretaria de Meio Ambiente; MundusCarbo Soluções Ambientais e Projetos de Carbono Ltda. **Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: < www.pbh.gov.br/smpl/PUB_P015/Relatório+Final+Gases+Estufa.pdf> Acesso em : 11 Dezembro 2013.

BRASIL. Comitê Interministerial sobre Mudanças do Clima. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC - BRASIL**. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf>. Acesso em: 10 outubro 2013.

BRASIL. **Decreto n. 7.390, de 09 de Dezembro de 2010**. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional

sobre Mudanças Climáticas – PNMC, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm>. Acesso em: 10 fevereiro 2013.

BRASIL. **Lei n. 11.097 de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Brasília, DF: Presidência da República, 2005. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato_2004-2006/2005/Lei/L11097.htm >. Acesso em: 14 agosto 2013.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases do efeito estufa no Brasil**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.mcti.gov.br/index.php/content/view/350133.html> >. Acesso em: 10 outubro 2013.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **1.º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Brasília/DF, 2011. Disponível em < http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf > Acesso em: 01 abril 2013.

_____. **Resolução nº 5, de 05 de agosto de 1993**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0593.html> > Acesso em 09 setembro 2013

_____. **Resolução nº 16, de 13 de dezembro de 1995**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res95/res1695.html> > Acesso em 11 setembro 2013.

_____. **Resolução nº 251, de 12 de janeiro de 1999**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25199.html> > Acesso em 18 setembro 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanço Energético Nacional 2012. Ano base 2011: Resultados Preliminares**. Rio de Janeiro: EPE, 2012. 51 p.

Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf>
> Acesso em: 08 junho 2013.

CARVALHO JUNIOR, J. A., MCQUAY, M. Q. **Princípios de Combustão Aplicada**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

CCSP- CLIMATE CHANGE SCIENCE PROGRAM. **Analyses of the effects of global change on human health and welfare and human systems**. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. [Gamble, J.L. (ed.), K.L. Ebi, F.G. Sussman, T.J. Wilbanks, (Authors)]. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA 2008.

CETESB (São Paulo). **Emissões veiculares no estado de São Paulo 2012** [recurso eletrônico] / CETESB ; coordenação técnica Marcelo Pereira Bales ; elaboração Antônio de Castro Bruni [et al.]. - - São Paulo : CETESB, 2013. 108 p. : il. color. - - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103). Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/emissao veicular](http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/emissao%20veicular)> Acesso em: 12 outubro 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro**. Brasília : 2012, 28 p. (Despoluir – Programa Ambiental do Transporte). Disponível em < [www.cnt.org.br/rio mais20/resources/cartilhas/Oleo_ Diesel_ Final.pdf](http://www.cnt.org.br/rio%20mais20/resources/cartilhas/Oleo_Diesel_Final.pdf)> Acesso em: 01 junho 2013.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Agenda 21**. In Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: de acordo com a Resolução JP 44/228 da Assembléia Geral da ONU, de 22-12-89, estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: a Agenda 21 - Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472p. Disponível em: < [www.onu.org.br/ rio20/img/2012/01/agenda21.pdf](http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf)> Acesso em: 12 outubro 2013.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA (CNPE). **Resolução nº 06, de 16 de setembro de 2009**. Estabelece em cinco por cento, em volume, o

percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, de acordo com o disposto no art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/CNPE/resolucao_2009/Resolucao_6_CNPE.pdf> Acesso em: 09 setembro 2013

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990**. Publicada no D.O.U. 22/08/90, Seção I, Págs. 15.937 a 15.939. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html> > Acesso em: 09 setembro 2013.

CURITIBA (Município), Secretaria de Meio Ambiente; Ecwood Assessoria Ambiental. **Inventário e Balanço de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Município de Curitiba**. Curitiba, Fevereiro/2011. Disponível em: < <http://www.curitiba.pr.gov.br/multimedia/00118446.pdf>> Acesso em: 08 abril 2014.

DABDOUB, M. J., BRONZEL, J. **Biodiesel: visão crítica do status e perspectivas na academia e na indústria**. Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 3, abr. 2009. p. 776-792.

Dados de GWP encontrados em US-EPA. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 - 2005. Estados Unidos: Abril, 2007.

DÁLIA, W. S. **A Produção do Biodiesel: uma perspectiva para a agroenergia no Nordeste brasileiro**. In: FERREIRA, J. R., CRISTO, C. M. P. N. (Org.) O Futuro da Indústria: coletânea de artigos. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Brasília: 2006. p. 27-36.

DULLIUS, Alexandre, PAFFRATH, Camila, OLIVEIRA, Marisa Terezinha. **O Desenvolvimento Energético no Brasil e a Importância do Biodiesel**. In: ANAIS DO II CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E III CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DA ISES, Florianópolis, 17 a 21 de novembro, 2008. Anais... Florianópolis: Editora da UFSC, 2008. 5 p.

EHSANI, M; GAO, Y; GAY, Sebastien E; EMADI, Ali. **Modern Eletric, Hybrid Eletric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design**. Power electronics and applications series. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431. 2004.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **Human Health**. Disponível em : < <http://www2.epa.gov/learn-issues/learn-about-health-and-safety> >. Acesso em: 18 setembro 2013.

FERNANDES, Manoel R. **Formulação de novos combustíveis base diesel avaliação de desempenho e emissões**. 2011. 154 Tese: (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil. 2011.

FERRARI, A., OLIVEIRA, V., SCABIO, A. **Biodiesel de Soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador elétrico**. Química Nova, São Paulo, v. 28, n. 1, nov. 2005. p. 19-23.

FONTANA, José Domingos. **Biodiesel: para leitores de 9 a 90 anos**. Curitiba: Ed. UFPR, 2011, 253 p.

FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE PROJETOS, PESQUISAS E ESTUDOS TECNOLÓGICOS (COPPETEC); RIO DE JANEIRO (Estado), Secretaria do Ambiente. **Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro**. Luiz Pinguelli Rosa, Márcio de Almeida D'Agosto (coord.). Rio de Janeiro, 2011. 151 p. Disponível em: < http://download.rj.gov.br/documentos/10112/975111/DLFE51272.pdf/Inventario_2011.pdf > Acesso em: 12 novembro 2013..

GARCIA, R. **Combustíveis e Combustão Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

GAZZONI, D. L. **Balanço de emissões de dióxido de carbono por biocombustíveis no Brasil: histórico e perspectivas.** Londrina: Embrapa Soja, 2012. 102 p. (Documentos/ Embrapa Soja, ISSN : 2176-2937 ; n.334). Disponível em: < http://www.cnpso.embrapa.br/download/Doc_334_OL.pdf> Acesso em: 25 Novembro 2013.

GHG PROTOCOL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** Disponível em: <http://ghgprotocolbrasil.com.br/arquivos/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf> Acesso em 02 janeiro 2013.

GOUVELLO, Christophe (Coord.). **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil.** Brasília: Banco Mundial, 2010. 173p.

GUARIERO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. **Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão.** Rev. Virtual Quim., 2011, 3 . Disponível em : <<http://www.uff.br/rvq>> Acesso em: 27 junho 2013

HEYWOOD, J. B.. **Internal Combustion Engine Fundamentals.** McGraw-hill Science, Book Company, New York, p. 930, 1988.

HOU C.T. e SHAW J.F.; **Fuel Properties and Performance of Biodiesel. Biocatalysis and Bioenergy.** Copyright , 2008.

IARC, International Agency for Research on Cancer. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol.** Vol. 88. Lyon, France, 2006. Disponível em: < <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/mono88-6.pdf> > Acesso em: 09 dezembro 2013.

IEA, International Energy Agency. **Policy Pathway: Improving the Fuel Economy of Road Vehicles**. OEDC Publishing, Paris. August, 2012. ISBN: 978-92-64-07316-6. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/PP5_Fuel_Economy_FINAL_WEB-1.pdf> Acesso em: 19 dezembro 2013.

_____. **Transport, Energy and CO₂**. OEDC Publishing, Paris. October, 2009. ISBN: 978-92-64-07316-6. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/PP5_Fuel_Economy_FINAL_WEB_Oct_2012.pdf> Acesso em: 18 dezembro 2013.

IMAP- INSTITUTO MUNICIPAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. RESULTADOS E PERSPECTIVAS. **Curitiba 2012: um novo patamar de desenvolvimento socioeconômico e ambiental**. In Relatório de Gestão 2012, 76 p. Disponível em: <http://rgestao.imap.org.br/rgestao2012/revistaRgestao12/anexos/relatorio_analitico_rg2012.pdf> Acesso em: 10 janeiro 2014.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol1 GGR. **Greenhouse Gas Inventory Reference Manual**. 1996. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>> Acesso em 10 abril 2013.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.: the scientific basis. **Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 881 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/publicationsanddata/publicationsand_data_reports.shtml Acesso em 5 de março de 2014.

_____. **Relatório do IPCC/ONU: Novos Cenários Climáticos**. Disponível em : <www.ecolatina.com.br>. Acesso em: 20 de março de 2013.

LEE, I.; JOHNSON L.A.; HAMMOND, E. G., **Use of Branched-Chain Esters to Reduce the Crystallization Temperature of Biodiesel**, J.Am. Oil Chem. vol. 7, nº. 10, p. 1155-1160, 1995.

MARTINELLI JÚNIOR, L. C. **Introdução às máquinas de combustão interna: Motores de combustão interna**. 1. ed. Panabi: Próprio autor, 2008. 186 p.

PETERSON, C. L. **O Estado-da-Arte da Indústria do Biodiesel: potencial de produção de biodiesel**. In: KNOTHE, G., VAN GERPEN, J., KRAHL, J. et al. Manual de Biodiesel. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. p. 256-264.

QUEIROZ, J. F. **Introdução do veículo híbrido no Brasil: evolução tecnológica aliada à qualidade de vida**. 2006. 71 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica da Usp. 2006.

RASPANTI, M. P. **Ônibus Nacional com Baixa Emissão de Poluentes**. In: REVISTA TECHNI BUS TRANSPORTE COLETIVO E TRÂNSITO. Ano 108, nº 22 Jun/Jul 2013. Disponível em: <<http://issuu.com/artworksbr/docs/tb108-completa/136>> . Acesso em 19 janeiro 2014.

ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre (RS): Bookman, 2009.

ROSA, M. V. F., OBELHEIRO, M. R., BOLTESINI, G. e LINDAU, L. A.. **Estimando as emissões atuais e futuras do transporte urbano no Brasil**. LASTRAN, UFRGS. Rio Grande do Sul, Brasil (2008).

SANTACESARIA, E., TESSER, R., DI SERIO, M. et al. **Kinetics and mass transfer of free fatty acids esterification with methanol in a tubular packer bed reactor: a key pretreatment in biodiesel production**. Ind. Eng. Chem., Washington, v. 46, n. 15, 2007. p. 5113-5121.

SEIFFERT, M.B.S. **Mercado de Carbono e Protocolo de Quioto: oportunidades de negócio na busca da sustentabilidade.** São Paulo: Atlas, 2009.

SISTER, Gabriel. **Mercado de carbono e protocolo de Quioto.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

SIVAPRAKASAM, S., SARAVANAN, C. G. **Optimization of the transesterification process for biodiesel production and use of biodiesel in a compression ignition engine.** Energy & Fuels, Washington, v. 21, n. 9, 2007. p. 2998-3003.

SPIRO, Thomas G.; STIGLIANI; William M. **Química Ambiental** - São Paulo, Pearson, Ed. 2, 2009.

URBS – URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S/A. **Relatório de Gestão 2010.** 31 f. Curitiba, 2010. Disponível em: < <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/uploads/relatorioGestaoArquivo/a52b73fc615fb5f5bdccab60683ca3429fcb5f86.pdf> > Acesso em: 10 janeiro 2014.

URBS – URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S/A. **Relatório de Gestão 2011.** p. 459-483. Curitiba, 2011. Disponível em: < <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/uploads/relatorioGestaoArquivo/71506ac5b20eaf131dd2770c7a711cf5d800eb8e.pdf> > Acesso em: 10 janeiro 2014.

URBS – URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S/A. **Relatório de Gestão 2012.** p. 369-379. Curitiba, 2012. Disponível em: < <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/uploads/relatorioGestaoArquivo/f75d87aac55975faa6fc4794285c3fd0c18a4d4e.pdf> > Acesso em: 11 janeiro 2014

VAN GERPEN, J. **Conceitos Básicos sobre Motores Diesel e seus Combustíveis.** In: KNOTHE, G., VAN GERPEN, J., KRAHL, J. et al. Manual do Biodiesel. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. p. 19-28.

VAN GERPEN, J., KNOTHE, G. **Produção de Biodiesel: princípios da reação de transesterificação**. In: KNOTHE, G., VAN GERPEN, J., KRAHL, J. et al. Manual de Biodiesel. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. p. 29-45.

VOLVO, 2013. **Ônibus Híbrido – Tecnologia, Economia e respeito ao Meio Ambiente**. 8 f. Disponível em: < <http://www.volvobuses.com/SiteCollectionDocuments/VBC/Brasil%20%20ILF/Downloads/Brochura%20%C3%94nibus%20H%C3%ADbrido.pdf> > Acesso em: 05 novembro 2013.

VORMITTAG, E. M. A. ; SALDIVA, P. H. ; MIRANDA, M. J. de . **Avaliação do Impacto da Poluição Atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde**. Instituto Saúde e Sustentabilidade. São Paulo, 2013.

ZEGRAS, P. Christopher. **As if Kyoto mattered: The clean development mechanism and transportation**. Energy Policy. 35:10 (2007). p. 5136-50. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60066/1/000136760.pdf> > Acesso em: 15 dezembro 2013.